



DESCARBONIZAÇÃO DE INFRAESTRUTURAS PORTUÁRIAS: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE SOLUÇÕES INTEGRADAS

Nuno Correia
EXE-QUADRANTE

ncorreia@exe-quadrante.com.

Introdução

A neutralidade carbónica é um objetivo global adotado por governos e organizações internacionais no âmbito de quadros como o Acordo de Paris e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas. No setor dos transportes, os portos marítimos desempenham um papel fundamental: são plataformas logísticas essenciais para o comércio mundial, mas também plataformas de consumo intensivo de energia e de emissões significativas de gases com efeito de estufa (GEE).

A indústria marítima representa cerca de 3% das emissões globais de CO₂ (IMO, 2023). Dentro desta, os portos concentram atividades emissoras em áreas urbanas densamente povoadas, com impactos diretos na qualidade do ar e saúde pública. A descarbonização portuária surge, assim, como uma prioridade ambiental, social e económica, alinhada com a Lei Europeia do Clima, o Green Deal e o PNEC 2030.

Este artigo pretende situar o setor no contexto das políticas climáticas e explorar alguns vetores chave para a descarbonização portuária: abastecimento elétrico de navios, integração de energias renováveis, digitalização e melhoria da eficiência e métodos construtivos de reduzida pegada carbónica.

Contexto Global de Emissões e Enquadramento na Ação Climática

Atualmente, cerca de 80% do volume e mais de 70% do valor do comércio mundial transitam pelos portos marítimos (UNCTAD, 2017). Embora o transporte marítimo seja o modo de transporte de mercadorias de longa distância mais eficiente do ponto de vista energético (3–15 gCO₂/t.km), as operações portuárias concentram múltiplas fontes de emissões — desde navios atracados com motores auxiliares a funcionar, a equipamento de movimentação de carga, atividades industriais, iluminação de terminais, AVAC e conectividade no interior. Estas atividades contribuem para a pegada de carbono dos sistemas portuários e ocorrem frequentemente perto de zonas urbanas densamente povoadas, intensificando o seu impacto ambiental local (Winnes, Styhre, & Fridell, 2015). Devido ao volume do comércio mundial e à concentração de emissões nos portos, a descarbonização dos ecossistemas portuários é crucial para alcançar os objetivos climáticos em todo o setor dos transportes.

A estratégia adotada pela *International Maritime Organization* (IMO) tem o objetivo de diminuir as emissões de GEE originadas no transporte marítimo, atingido o *net-zero* perto de 2050 (IMO, 2023).

A União Europeia reforça esta ambição através do *European Green Deal* pretendendo atingir a neutralidade carbónica até 2050 com um mínimo de reduções de 55% de GEE quando comparado com os níveis de 1990 (Comissão Europeia, 2023).

As estratégias modernas de descarbonização portuária baseiam-se no Protocolo de GEE reconhecido internacionalmente, que classifica as emissões em:

Âmbito 1: Emissões diretas de fontes que são propriedade ou são controladas pelo porto (por exemplo, uso de combustíveis fósseis em equipamentos dos terminais).

Âmbito 2: Emissões indiretas provenientes da eletricidade e energia adquirida para as operações.

Âmbito 3: Todas as outras emissões indiretas de atividades da cadeia de valor, incluindo



emissões de navios no cais, transporte de carga de/para o porto e emissões incorporadas em materiais de construção.

Medidas de Descarbonização Específicas

Os capítulos seguintes resumem, de forma breve, possíveis medidas que podem ser consideradas no planeamento da estratégia de descarbonização dos portos.

Eletrificação Verde e Ligação Elétrica a Navios

A eletrificação portuária, através do Onshore Power Supply (OPS) — também designado *Shore-to-Ship Connection* ou *Cold Ironing* — constitui uma das medidas mais eficazes para reduzir emissões de GEE. Ao ligar-se à rede elétrica em terra, os navios podem desligar os geradores auxiliares durante a estadia em porto, eliminando a queima local de combustíveis fósseis. Estudos indicam reduções próximas de 100% em partículas (PM), 98% em NOx e 99% em SOx, além de uma diminuição significativa de CO₂, dependendo do mix energético da rede. (Capela & Oliveira, 2023)

A nível europeu, a AFIR (Alternative Fuels Infrastructure Regulation) estabelece a obrigatoriedade de OPS em portos principais da rede TEN-T até 2030, sendo esta medida central para cumprir as metas de neutralidade carbónica. Em Portugal, o Decreto-Lei n.º 84/2022 reforça o enquadramento, prevendo quotas de energia renovável aplicáveis também ao setor marítimo.

O caso do Porto de Lisboa é um exemplo que ilustra a viabilidade técnica e os desafios associados. A análise de viabilidade identificou uma procura potencial de até 50 MVA para os seis terminais em estudo. No entanto, persistem barreiras significativas, desde os custos elevados de investimento, que podem variar entre 2 e 8 milhões de euros por posto OPS, à baixa taxa de navios preparados, que se situa abaixo de 20% da frota mundial de mercadorias e cerca de 35% no caso dos cruzeiros. A isto soma-se ainda a fraca competitividade do preço da eletricidade face ao combustível fóssil queimado a bordo, que condiciona a viabilidade económica destes projetos. (Santos, 2022)

Integração de Energias Renováveis

A integração de energias renováveis em portos representa uma oportunidade estratégica para reduzir emissões de Scope 2. Ao produzir e gerir a sua própria energia limpa, os portos podem não só reduzir a pegada carbónica das suas operações, mas também atuar como hubs energéticos para cadeias logísticas e comunidades urbanas adjacentes.

As principais soluções incluem:

- Sistemas fotovoltaicos em coberturas e áreas portuárias, com possibilidade de combinação com armazenamento em baterias;
- Parques eólicos ligados ao porto, permitindo suprir consumos de média e alta tensão;
- Produção de hidrogénio verde e e-combustíveis (e-fuels), usando eletrólise alimentada por excedentes renováveis;
- Micro-redes inteligentes, capazes de gerir fluxos bidirecionais entre navios, concessionários, operadores logísticos e a rede pública.

Entre os benefícios destacam-se a redução significativa de emissões associadas ao consumo elétrico, o suporte a sistemas OPS e a maior resiliência energética, mitigando riscos de volatilidade dos preços da energia e de falhas de rede.

Contudo, subsistem barreiras importantes. As limitações de espaço em áreas portuárias consolidadas condicionam a instalação de novas unidades de geração. Acresce o conflito de usos do solo, frequentemente disputado entre produção de energia e necessidades de armazenagem logística. A conexão à rede e a capacidade de escoamento da energia renovável constituem outro desafio, ao qual se soma a incerteza regulatória sobre contratos de compra de energia e sobre a partilha de energia entre múltiplos utilizadores.



Digitalização e Melhoria da Eficiência

A digitalização portuária constitui uma alavanca fundamental para a descarbonização, ao permitir otimização de fluxos logísticos, redução de tempos de espera e menor consumo de energia em navios, veículos terrestres e equipamentos de cais.

As principais ferramentas incluem:

- Sistemas Just-in-Time e Port Call Optimization: coordenam a chegada de navios com disponibilidade de cais, reduzindo períodos de espera ao largo e consumo de combustível. Estudos europeus apontam reduções de até 20% nas emissões por escala quando estas soluções são implementadas de forma integrada.
- Plataformas digitais harmonizadas: o programa europeu Maritime Single Window, obrigatório desde 2025, uniformiza a submissão de formalidades eletrónicas para navios em todos os portos da UE, reduzindo burocracia, atrasos e emissões associadas.
- Automatização de terminais e IoT: sensores, inteligência artificial e digital twins possibilitam monitorização em tempo real de consumos energéticos e otimização de equipamentos portuários (STS, RTG, empilhadores).
- Gestão inteligente de energia: micro-redes digitais e sistemas de previsão de carga ajudam a equilibrar consumo portuário, permitindo maior integração de energias renováveis.

Apesar dos benefícios, subsistem barreiras relevantes. A interoperabilidade limitada entre sistemas de diferentes portos e armadores continua a dificultar a adoção em larga escala. Acresce a desigualdade de maturidade digital entre operadores, que pode gerar riscos de exclusão para os atores de menor dimensão. Finalmente, as preocupações de cibersegurança tornam-se cada vez mais significativas, acompanhando o aumento da interconexão digital.

Emissões em Fase de Construção

As emissões geradas na fase de construção de um porto são frequentemente subestimadas, mas podem representar uma parte significativa da pegada carbónica ao longo do ciclo de vida da infraestrutura. Um projeto de cais tem um impacto significativo nas emissões de GEE. Estas emissões enquadram-se sobretudo nos Âmbitos 1 e 3 do GHG Protocol – provenientes da queima de combustíveis em obra, transporte de materiais e emissões incorporadas em aço e cimento.

As principais fontes incluem:

- Materiais de elevada intensidade carbónica, como o cimento Portland e o aço estrutural;
- Processos de transporte, construção e dragagem, dependentes de combustíveis fósseis;
- Atividades em estaleiro, com consumo intensivo de energia.

Para reduzir a pegada carbónica da construção portuária, podem ser consideradas várias estratégias de mitigação:

- Materiais de baixo carbono: utilização de cimento verde, ou aço produzido em forno elétrico alimentado por energias renováveis;
- Prefabricação e modularidade: controlo de desperdícios e aumento da eficiência;
- Economia circular: reciclagem de agregados dragados, reutilização de elementos metálicos (ex.: estacas, ensecadeiras) e integração de pré-fabricados;
- Energia renovável em estaleiro: recurso a geradores híbridos e sistemas solares provisórios pode reduzir até 2% das emissões diretas.

Um exemplo de inovação relevante, utilizado com sucesso em mais de 40 projetos, é o método



cantitravel, que combina o desenvolvimento estrutural com a metodologia construtiva. Trata-se de uma plataforma metálica rolante equipada com gruas e sistemas de cravação, que avança apoiada na própria estrutura definitiva em execução, permitindo:

- Eliminar o uso de equipamentos flutuantes, reduzindo consumo de combustível marítimo e riscos associados a condições meteorológicas adversas;
- Aumentar a produtividade: rendimentos superiores a 15m de frente de cais por semana;
- Otimização do planeamento, reduzindo impactos económicos e ambientais da fase de construção (Sabino, 2022);
- Diminuir a quantidade de aço utilizado na construção de novos equipamentos ao reutilizar os cantitravelers de projeto para projeto.

Visão e Oportunidades para os Portos Sustentáveis

A descarbonização portuária é um desafio multidimensional que exige a combinação de tecnologias, políticas públicas, financiamento e aceitação social. Os portos, sendo nós centrais da economia global, têm também a responsabilidade de liderar a transição energética e climática, assumindo um papel ativo na redução de emissões de gases com efeito de estufa.

O enquadramento europeu (Green Deal, Fit for 55, AFIR, MSW) e nacional (PNEC 2030, DL 84/2022) define metas claras.

Do ponto de vista técnico, várias medidas já demonstraram maturidade e impacto:

- OPS para reduzir poluentes locais;
- Integração de renováveis, tornando os portos hubs energéticos;
- Digitalização e automação, para eficiência e competitividade;
- Gestão das emissões da construção, com materiais de baixo carbono e métodos construtivos inovadores.

Os principais desafios são o custo elevado, a baixa taxa de navios preparados para ligação OPS, conflitos de uso do solo, disparidades digitais e a falta de harmonização regulatória.

Em síntese, os portos que conseguirem alinhar infraestrutura verde, digitalização e integração urbana estarão melhor posicionados para cumprir as metas climáticas, atrair investimento sustentável e reforçar a sua competitividade global. A descarbonização não deve ser entendida apenas como obrigação, mas como uma oportunidade para transformar os portos em plataformas energéticas e logísticas de nova geração, ao serviço da economia e da sustentabilidade.

Referências Bibliográficas

- Capela, S., e Oliveira, S. (2023). "Estratégia de descarbonização dos portos. 11as Jornadas de Engenharia Costeira e Portuária". Matosinhos, Leixões: PIANC Portugal.
- Comissão Europeia. (2023). "Fit for 55: Delivering the EU Green Deal". Obtido de https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- IMO. (2023). "IMO Strategy on reduction of GHG emissions from ships". IMO.
- Sabino, R. (2022). "Aplicação de Métodos Inovadores para Projeto e Construção de estruturas Portuárias". 10as Jornadas de Engenharia Costeira e Portuária. Sines.
- Santos, A. (2022). "Ligação Elétrica a Navios de Cruzeiro e de Mercadorias – Shore-to-Ship Connection". 10as Jornadas de Engenharia Costeira e Portuária. Sines.
- UNCTAD. (2017). "Review of Maritime Transport 2017". Obtido de United Nations Conference on Trade and Development: <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2017>
- Winnes, H., Styhre, L., e Fridell, E. (2015). "Reducing GHG emissions from ships in port areas". Research in Transportation Business & Management, volume 17, 73-82.