



AVALIAÇÃO DA RESILIÊNCIA DOS PORTOS ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

Adélio Silva; Paulo Chambel Leitão; João Rodrigues; José Chambel Leitão;
HIDROMOD

adelio@hidromod.com, paulo.chambel@hidromod.com, joao.rodrigues@hidromod.com,
jcleitao@hidromod.com.

Introdução

Os portos são cruciais para a economia nacional, e a sua importância aumentará devido ao esperado crescimento do comércio internacional. Os portos são vulneráveis aos efeitos das alterações climáticas, tais como variações nas ondas, subida do nível do mar, vento e ondas de calor. Estes fatores implicam a adoção de estratégias e ferramentas que permitam compreender profundamente os impactos das alterações climáticas à escala local e apoiar eficazmente os processos de tomada de decisão.

No caso dos grandes portos, frequentemente integrados em extensas aglomerações urbanas costeiras, estes perigos podem também afetar grandes populações e um vasto leque de partes interessadas e atividades socioeconómicas. Para além de causarem danos em infraestruturas, as alterações dos fatores climáticos podem impactar as operações, provocando perturbações e atrasos significativos, bem como perdas económicas e comerciais; a procura de transporte pode igualmente ser afetada, por exemplo, através de alterações nos padrões demográficos, na produção industrial e agrícola, no comércio, no consumo e no turismo induzidas pelas mudanças climáticas.

De acordo com a European Sea Ports Organization (ESPO), as alterações climáticas foram consideradas a principal preocupação ambiental dos portos europeus em 2022 e 2023 (ESPO 2022, 2023), subindo de forma consistente no ranking de prioridades desde 2017, quando foram referidas pela primeira vez. Em 2023, respostas de 90 portos europeus em 20 países, membros e observadores da ESPO, indicaram que, embora menos de metade (47%) tenham enfrentado desafios operacionais relacionados com o clima, uma clara maioria (76%) incorpora considerações de adaptação às alterações climáticas no planeamento e implementação de novos projetos de infraestrutura.

Assim, uma adaptação eficaz às alterações climáticas requer abordagens multifacetadas, incluindo medidas técnicas que envolvam conceções inovadoras e eficientes para evitar sobredimensionamento, colmatar eventuais lacunas de dados e conhecimento, e desenvolver soluções de gestão adequadas que reduzam a vulnerabilidade e permitam decidir sob incerteza. Para atingir estes objetivos, numa primeira fase é necessário perceber que ativos, operações e sistemas são críticos e poderão ser afetados pelo clima em mudança. Esta tarefa deve ser realizada em cooperação com as autoridades portuárias e incluir quer uma caracterização climática baseada em dados históricos (por exemplo, ERA5) quer o conhecimento do porto relativamente à sua perceção sobre a vulnerabilidade e a criticidade relativa dos diferentes ativos ou operações face aos parâmetros climáticos a considerar (tipicamente nível do mar, ondas, vento, temperatura, precipitação, ondas de calor, ...).

Desafios relacionados com a adaptação às alterações climáticas

Embora o setor portuário enfrente vários desafios relacionados com o clima, também apresenta oportunidades interessantes para o futuro. Para se manter competitivo enquanto responde a estes desafios, a indústria portuária terá de demonstrar resiliência, cooperação e inovação. Os portos que se transformarem com sucesso em hubs sustentáveis e inteligentes ganharão uma vantagem estratégica no comércio global do futuro.

Ao enfrentar estes desafios, o setor deve estar preparado para responder a vários cenários económicos e infraestruturais, tais como adaptação de infraestruturas (eventual necessidade de reforçar estruturas para lidar com eventos meteorológicos extremos), transição energética,



otimização logística (introdução de tecnologias digitais como inteligência artificial e automação), adoção de tecnologias verdes, adaptação a novas rotas comerciais, adoção de novos regulamentos e gestão dos custos económicos associados à adaptação.

No entanto, os gestores portuários há muito estão habituados a conceber as suas estruturas para resistirem a eventos meteorológicos extremos e já estão a preparar o futuro, especialmente no que respeita a ações de curto a médio prazo relacionadas com a evolução do enquadramento regulamentar (muitas delas motivadas pela necessidade de reduzir emissões).

Observando os potenciais efeitos das alterações climáticas mais diretamente relacionados com a infraestrutura portuária, podem identificar-se, de imediato, a aceleração da subida do nível do mar, alterações nos padrões de ondulação, redução dos períodos de retorno dos níveis extremos do mar, variações nas condições de vento e mudanças na precipitação extrema. Estes fatores climáticos podem, por sua vez, inundar plataformas portuárias, interromper infraestruturas de acesso ou alagar terminais. Além disso, o aumento das temperaturas pode afetar as condições de trabalho ou comprometer a integridade dos equipamentos.

É, portanto, necessária uma abordagem sistémica para tratar a adaptação das infraestruturas portuárias às alterações climáticas, considerando todo o conjunto de componentes envolvidos na navegação e nas operações portuárias.

Neste contexto, o primeiro passo para avaliar os potenciais riscos associados às alterações climáticas (ou a qualquer outro fator de pressão futuro) é caracterizar devidamente os parâmetros ambientais locais passados e presentes. Depois, podem avaliar-se as variações em projeções climáticas para os parâmetros ambientais relevantes e para cada porto selecionado.

Metodologia de análise de risco

A metodologia de análise de risco proposta segue uma abordagem estruturada e exploratória baseada nas propostas Grupo de Trabalho 178 da PIANC. Envolve compreender o contexto e objetivos do porto, identificar impactos climáticos relevantes, avaliar vulnerabilidades e a evolução do risco, e priorizar medidas de adaptação.

O processo combina criticidade dos ativos, projeções climáticas e avaliações de exposição para gerar uma pontuação de risco que orienta o planeamento estratégico e as decisões de investimento.

A primeira etapa inicia-se com um inventário detalhado de todas as infraestruturas portuárias e operações típicas dentro do perímetro de estudo. A lista deve ser validada pelas autoridades portuárias locais para garantir exaustividade e relevância. Cada ativo e operação é avaliado quanto à sua criticidade, definida pelo potencial impacto de uma falha no domínio da segurança, atividade económica, bem-estar social e integridade ambiental. O resultado é uma matriz estruturada que capta a importância relativa de cada ativo e operação, formando a espinha dorsal do processo de priorização do risco.

Depois de mapeados os ativos e operações do porto e avaliada a sua criticidade, o passo seguinte é explorar como as alterações climáticas os podem afetar:

- Seleção de parâmetros climáticos relevantes: O processo começa pela identificação de parâmetros atmosféricos (por exemplo, precipitação, temperatura, vento) e oceânicos (por exemplo, subida do nível do mar, sobre-elevação de tempestade, altura significativa da onda) que possam influenciar infraestruturas e atividades portuárias. Estes parâmetros são escolhidos com base no seu potencial para perturbar operações ou degradar ativos.
- Projeções climáticas: As tendências futuras para cada parâmetro são avaliadas utilizando cenários climáticos normalizados do IPPC (RCP 4.5 e RCP 8.5), que representam, respetivamente, trajetórias de emissões moderadas e elevadas. Estas projeções estendem-se até 2100 e ajudam a antecipar a magnitude e o sentido da mudança).
- Mapeamento parâmetro–risco: Cada parâmetro é então ligado a riscos específicos. Por exemplo, a subida do nível do mar pode conduzir à inundação de cais, enquanto o calor extremo pode afetar a durabilidade de materiais ou a segurança dos trabalhadores. Este



mapeamento cria uma ponte direta entre a mudança ambiental e a vulnerabilidade operacional, preparando o terreno para uma avaliação de risco direcionada.

Avaliação da vulnerabilidade e risco

Este passo é o núcleo analítico da metodologia, onde projeções climáticas e dados dos ativos convergem para quantificar o risco. Avalia-se como cada risco poderá evoluir, comparando as condições atuais com projeções para 2050 e 2100.

A avaliação da vulnerabilidade de cada ativo ou operação envolve duas fases: primeiro, uma avaliação geral da sensibilidade (também designada suscetibilidade) a cada perigo (por exemplo, ondas de calor, subida do nível do mar); segundo, uma análise espacial que considera a localização do ativo no porto, especialmente a respetiva cota/elevação e a exposição ao perigo.

Muitas definições de vulnerabilidade em enquadramentos de risco portuário (por exemplo, alinhados com a ISO 31000, ferramentas de gestão de risco da IALA ou orientações PIANC) usam um sistema de pontuação ou categorização, como:

- Vulnerabilidade Baixa / Média / Elevada
- Ou escalas numéricas (por exemplo, 0–1, onde 1 = extremamente vulnerável)

Normalmente, a vulnerabilidade é descrita em termos de resistência (capacidade de resistir a danos iniciais), resiliência (rapidez de recuperação após impacto), dependência (se depende de outros sistemas críticos) e criticidade (quão essencial é para as operações portuárias).

No contexto portuário, define-se geralmente como o grau em que um ativo, sistema ou processo operacional é suscetível a danos, perturbações ou degradação funcional quando exposto a um perigo ou ameaça. Em termos práticos:

- Vulnerabilidade de ativos (por exemplo, muralha de cais, grua, armazém) foca-se na robustez física, normas de conceção, estado de manutenção e exposição a ameaças específicas (sobre-elevações de tempestade, ciberataques, acidentes, etc.).
- Vulnerabilidade operacional (por exemplo, acostagem de navios, carga/descarga, desalfandegamento) foca-se em quão facilmente a operação pode ser perturbada, atrasada ou interrompida devido a choques externos (eventos meteorológicos, greves, falhas de TI, incidentes de segurança).

Por fim, a pontuação de risco é calculada através de uma fórmula simples mas eficaz:

$$\text{Risco} = \text{Criticidade} \times \text{Evolução do Risco} \times \text{Vulnerabilidade}$$

Cada componente é pontuado numa escala normalizada, permitindo a comparação entre ativos que ajuda a priorizar que infraestruturas ou operações exigem medidas de adaptação mais urgentes. O processo deve ser iterativo e participativo, incentivando contributos dos portos e concessionários para refinar pressupostos e garantir relevância local. Esta etapa prepara o terreno para um planeamento de adaptação direcionado, assegurando que os recursos sejam orientados para as áreas do sistema portuário mais expostas e impactantes.

Requisitos de dados

Uma adaptação eficaz às alterações climáticas depende de dados acessíveis e adequados ao objetivo. A recolha de dados e o registo rigoroso desempenham um papel vital, tanto para compreender tendências locais e, assim, determinar quando agir; como para documentar a frequência e as consequências de eventos extremos. O grande valor de séries de dados de longo prazo na avaliação de tendências meteorológicas, oceanográficas e hidrológicas não pode ser sobrestimado quando se tomam decisões de adaptação. Um passo inicial importante no planeamento da adaptação é, portanto, adquirir, armazenar e gerir dados locais relevantes sobre a condição e desempenho de ativos físicos e sobre a eficiência operacional (PIANC, 2020).

Contudo, os dados históricos e de previsões climáticas, por si só, não são suficientes para orientar o processo de decisão, sendo essencial garantir igualmente a implementação de



estratégias de monitorização eficazes que permitam seguir (e verificar) no terreno se as tendências previstas estão efetivamente a acontecer. Estes sistemas de monitorização poderão ainda oferecer o valor acrescentado de fornecer previsões de curto prazo que permitam melhorar planeamento de operações e aumentar a segurança (acionando respostas de emergência e outras respostas rápidas de adaptação (podendo em alguns casos mitigar a necessidade de investimentos adicionais).

Ações de adaptação

Uma vez identificados os riscos, propõe-se um vasto leque de medidas de adaptação para reduzir vulnerabilidades, reforçar a resiliência das infraestruturas e operações portuárias e assegurar a continuidade dos serviços em condições climáticas futuras. Para avaliar e priorizar estas medidas, deverá ser conduzida uma Análise Multi-Critério (AMC) em que as medidas são pontuadas qualitativamente em vários critérios, como custo relativo, viabilidade técnica e eficácia. As medidas melhor classificadas são então sujeitas a estudos de pré-viabilidade, que incluem avaliações técnicas e económicas.

O resultado é uma hierarquia clara de opções de adaptação, orientando os decisores para as intervenções mais impactantes e exequíveis. Entre as diferentes opções potencialmente adequadas, algumas podem ser relativamente simples e económicas de implementar. Para outras, que envolvam maiores investimentos e necessitem de mais tempo, em vez de estabelecer um prazo em meses ou anos, a monitorização, para além de permitir ir confirmando na prática se as tendências previstas se estão a confirmar, pode funcionar igualmente como um elemento de suporte às operações diárias e atuar sistema de alerta precoce. Por exemplo, se um ativo se torna vulnerável quando o nível médio do mar subir 0,50 m, um limiar de acionamento de 0,48 m poderá fornecer aviso suficiente para iniciar a implementação das medidas de adaptação relevantes.

Conclusões

A metodologia de avaliação de risco apresentada neste artigo integra três componentes centrais: a criticidade de cada infraestrutura ou atividade operacional, a sua vulnerabilidade a perigos relacionados com o clima e a evolução projetada desses perigos. Esta metodologia foi pensada para produzir uma avaliação abrangente, atribuindo pontuações de risco quantificadas a cada ativo e operação portuária para um conjunto de perigos — incluindo inundações, vento, nevoeiro, calor, galgamento e condições de agitação/ondulação marítima.