



PORTO DO AÇU:
Avaliação dos
Riscos Climáticos
RESUMO EXECUTIVO



**PORTO
DO AÇU**



PORTO DO AÇU: Avaliação dos Riscos Climáticos

RESUMO EXECUTIVO

EQUIPE EXPEDIENTE

LAYOUT E PRODUÇÃO GRÁFICA

Alastra, Comunica

EQUIPE TÉCNICA - ADMINISTRAÇÃO PORTUÁRIA

Alexander Ishikawa

Betina Oliveira

Carolina Brandl

Fernanda Sossai

Juliane Carneiro

Luiz Gustavo Cruz

Maartje Driessens

Tomaz Brentano

EQUIPE TÉCNICA - FILIAIS DA PRUMO

Adriano Truffi, VAST Infraestrutura

Edenilson Sanches, Ferroport

João Teixeira, Gás Natural Açú

Leonardo Santarossa, VAST Infraestrutura

Renato Aguiar, Ferroport

EQUIPE TÉCNICA - PORTO DE ANTUÉRPPIA INTL.

Michiel Dubos

Nele Voorspoels

EQUIPE TÉCNICA - DELTARES

Alex Capel

Arne van der Hout

Frederick Weiland

Freek Scheel

João Dobrochinski

Martin de Jong

Sofia Caires

Deltares Consultancy é um instituto independente de pesquisa aplicada no campo da água e subsuperfície, para avaliar os riscos e impactos potenciais dos efeitos da mudança climática nas operações e infraestrutura do porto, concentrando-se nos efeitos da mudança do nível do mar, ventos, ondas e regimes de precipitação.

CONTATOS

Luiz Gustavo Cruz, Porto do Açú:

gustavo.cruz@portodoacu.com.br

Fernanda Sossai, Porto do Açú:

fernanda.sossai@portodoacu.com.br

João Dobrochinski, Deltares:

joao.dobrochinski@deltares.nl

Como citar:

PORTO DO AÇU OPERAÇÕES S.A. PORTO DO AÇU: AVALIAÇÃO DOS RISCOS CLIMÁTICOS - Resumo Executivo. Rio de Janeiro: Porto do Açú, 2022. Disponível em: <https://esg.portodoacu.com.br/>

Rio de Janeiro, Maio 2022

RESUMO

HISTÓRICO	5
INTRODUÇÃO	6
METODOLOGIA	7
RESULTADOS	9
MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO E RECOMENDAÇÕES	15
CONCLUSÕES	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
GLOSSÁRIO	19

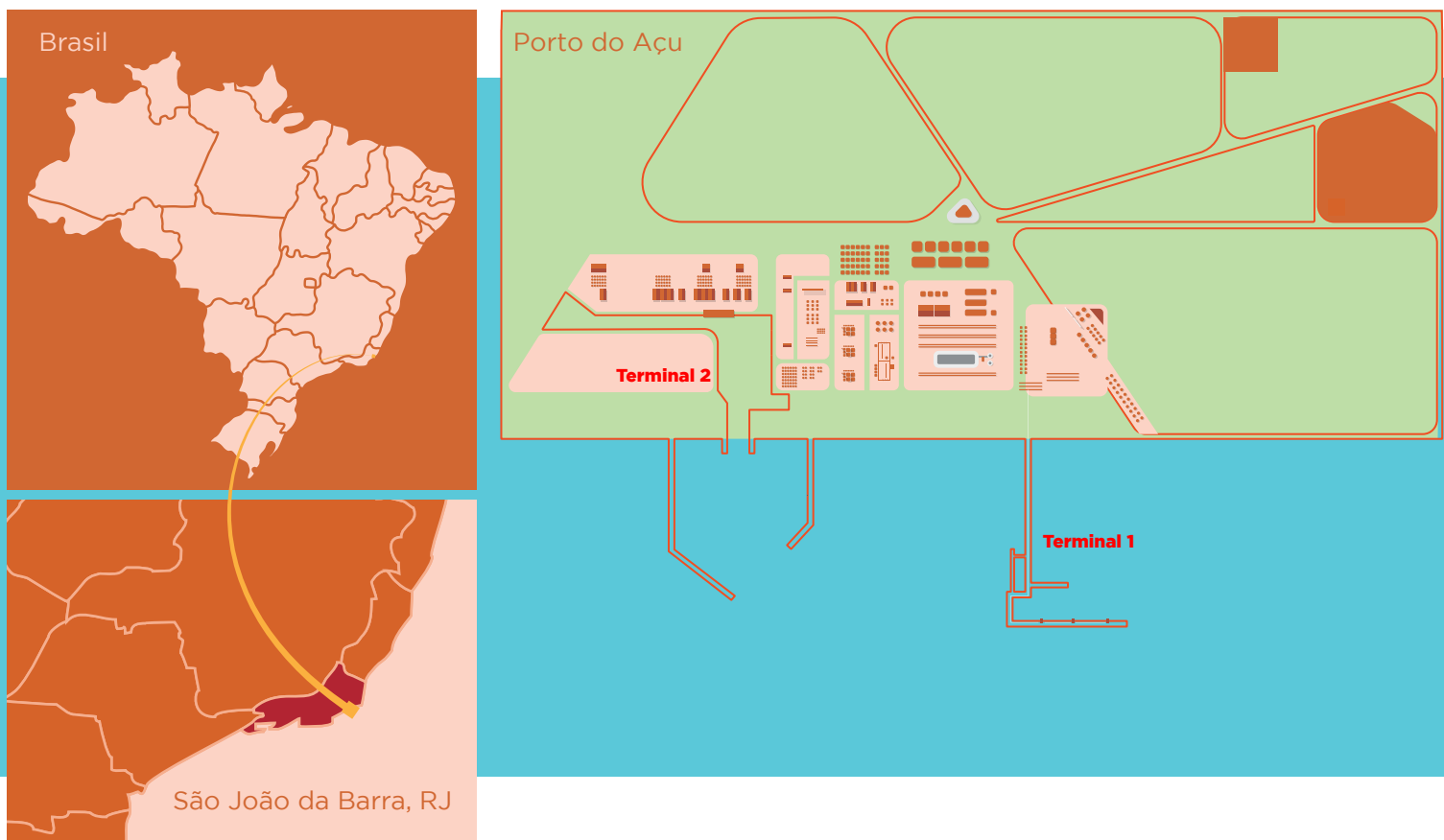
HISTÓRICO

Em desenvolvimento pela Prumo Logística S.A., empresa da EIG Global Energy Partners e Mubadala Investment Company, o Porto do Açú está localizado em São João da Barra, no nordeste do estado do Rio de Janeiro, Brasil. Açú é o resultado de investimentos que totalizam US\$ 4,5 bilhões e representa um complexo industrial portuário com 100% de participação de capital privado. Sua administração é operada com os mais altos padrões de eficiência e segurança. Sobre auxílios a navegação, o porto foi o primeiro no país a ter implementado serviços de tráfego marítimo (VTS) e atualmente conta com boias, lanternas e equipamentos meteoceanográficos de última geração.

O porto começou a operar em 2014 e compreende 10 terminais privados organizados dentro de duas áreas principais: Terminal 1 (T1 - *offshore*) movimentando minério de ferro e petróleo bruto e o Terminal 2 (T2 - *onshore*) movimentando carga geral, granéis secos e também abrigando bases de apoio O&G offshore, um terminal GNL e usinas termoelétricas.

O Porto do Açú cobre uma área total de 130 km² dos quais 90 km² são dedicados ao desenvolvimento portuário e industrial e 40 km² representam a Reserva de Caruara, uma unidade de conservação de reserva natural.

Figura 1. Mapa do Porto do Açú



Com o objetivo de garantir a ocupação ordenada e o desenvolvimento sustentável do Açú, a Administração Portuária desenvolveu seu Plano Diretor, que define critérios urbanos, econômicos e ambientais alinhados com as regulamentações municipais e estaduais com um horizonte até o ano de 2050. Os critérios definidos fornecem as diretrizes para a localização de diferentes tipos de indústrias buscando possíveis sinergias e orientando o planejamento do porto para a implementação de infraestrutura terrestre, marítima e portuária, tais como obras de dragagem, acesso terrestre, distribuição de água, saneamento e energia. Além disso, de acordo com seu Planejamento Estratégico, o Açú tem como objetivo crescer suas operações através do desenvolvimento de negócios de baixo carbono, consolidando o Açú como um ponto de conexão para a rápida expansão da descarbonização em todo o mundo.

Em meados de 2020, de acordo com sua nova Estratégia de Sustentabilidade e melhores práticas de gestão de riscos da mudança climática, o Porto do Açú iniciou os estudos para avaliar os impactos potenciais dos efeitos da mudança climática nas operações e infraestrutura do porto, concentrando-se nos efeitos da mudança do nível do mar, ventos, ondas e regimes de precipitação.

Os resultados, resumidos neste relatório, mostram que as projeções atualmente disponíveis indicam apenas mudanças limitadas nas condições climáticas ambientais dentro das próximas décadas, concluindo que a localização do porto pode ser considerada favorável do ponto de vista da mudança climática. Os resultados também indicam que possivelmente mudanças mais relevantes são esperadas a longo prazo (ou seja, 2070+) em condições de nível médio do mar, vento e precipitação.

INTRODUÇÃO

Portos ao redor do mundo já estão sofrendo as consequências do aumento da temperatura do ar e da água, aumento do nível do mar e mudanças nas condições sazonais de precipitação, vento e ondas. Muitos também estão vendo eventos extremos mais frequentes e severos, como tempestades, ondas de calor e secas. De uma perspectiva global, os efeitos da mudança climática associados ao aquecimento global estão projetados para aumentar nas próximas décadas e podem representar um risco significativo para os negócios, operações, segurança e infraestrutura. Portanto, os portos podem ser obrigados a tomar medidas urgentes para fortalecer a resiliência e adaptar-se a possíveis condições adversas de mudança.

Em meados de 2020, a empresa aprovou sua nova estratégia de sustentabilidade, incluindo diretrizes para ajudar a navegar através das mudanças materiais associadas à transição para uma economia de baixo carbono e para promover a resistência às mudanças climáticas e a mitigação dos riscos físicos.

Seguindo a nova estratégia e orientação, a empresa contratou especialistas técnicos do Porto de Antuérpia Internacional (PAI) e da Deltares Consultancy.

Um Grupo de Trabalho coordenado pela Administração do Porto e com a participação das empresas Gás Natural Açú (GNA), Ferroport e Vast Infraestrutura, empresas subsidiárias da Prumo Logística S.A. com operações no complexo portuário, trabalhou em conjunto com a Deltares e consultores técnicos do PAI para permitir uma avaliação abrangente da infraestrutura geral do porto e das principais operações. Os principais objetivos da avaliação foram:

- Avaliar possíveis cenários climáticos futuros.
- Estimar a vulnerabilidade das principais operações portuárias sob tais cenários e definir estratégias potenciais de adaptação; e
- Antecipar possíveis desafios futuros e medidas necessárias para enfrentar os riscos físicos identificados.

METODOLOGIA

Uma avaliação geral conduzida pelo Grupo de Trabalho introduziu as consequências potenciais da mudança climática e alguns dos desafios a serem enfrentados. Em seguida, introduz uma estrutura metodológica em três etapas para ajudar o Porto do Açú a planejar a melhor forma de adaptação. A abordagem em três fases e seus principais objetivos são descritos abaixo:

- **Fase 1:** Determinar as condições ambientais climáticas atuais e compilar a projeção disponível de possíveis cenários futuros (nível do mar, ventos, ondas e precipitação);
- **Fase 2:** Estimar a vulnerabilidade das principais operações portuárias em cenários futuros, uma avaliação baseada nos resultados da Fase 1; e
- **Fase 3:** Implementar as recomendações decorrentes da Fase 2, se e onde for necessário.

Este relatório apresenta os resultados do estudo das Fases 1 e 2. As respectivas metodologias são apresentadas abaixo. A Fase 3 não foi exigida como resultado da Fase 2.

Fase 1: Regime climático atual e futuro no Porto do Açú

Esta fase foi focada na definição das condições climáticas presentes e futuras no porto em relação ao nível do mar, ventos, ondas e precipitação local. A caracterização dos regimes atuais (ou seja, médio e extremo) é baseada em padrões e tendências observadas nos últimos anos há décadas. Essas avaliações fazem uso de conjuntos de dados medidos e fornecidos pelo Porto, bem como uma revisão de literatura e informações de fontes públicas. Foram utilizados os seguintes dados:

- Dados das marés medidas em T1 e T2: a definição do regime de variações do nível do mar foi baseada na análise dos dados medidos no porto.
- Dados de vento medidos em T1: os dados medidos foram comparados com os dados de reanálise (ERA5), incluindo a indicação de limitações ERA5 para ventos de maior intensidade e sugerindo uma relação linear para correção/calibração dos dados de reanálise.



- Dados de precipitação medidos em T1 e T2: foram comparados com os dados ERA5 para validação a partir do banco de dados de reanálise. Em geral, as comparações provaram ser satisfatórias.
- Dados das ondas: a caracterização do regime atual foi baseada exclusivamente em dados de reanálise (ERA5) em águas profundas. Comparações internas foram feitas com dados medidos em águas rasas.

As condições futuras foram avaliadas através de um estudo desktop baseado nos Relatórios de Avaliação do IPCC (AR) em escala global e regional, revisão de literatura e julgamento de especialistas, ao mesmo tempo em que se consideravam as informações dentro do contexto do projeto. No momento em que o estudo foi desenvolvido, o último AR6 ainda não estava (totalmente) disponível, portanto as avaliações utilizaram o AR5 anterior junto com as últimas publicações científicas disponíveis. Comparações posteriores com o AR6 indicam um alinhamento satisfatório, certificando a consistência de nossos resultados.

Os horizontes de tempo considerados nas avaliações se estendem até 2100, com cenários avaliados para a região portuária em três escalas de tempo diferentes: 2040, 2070 e 2100. Os cenários de emissões consideraram duas vias de concentração representativas (RCP¹) 4.5 e 8.5 (cenários intermediários e piores casos de mudança climática, como definido no IPCC AR5):

- **RCP 4.5 - Cenário de emissões médias / Cenários Intermediários de Mudança Climática:** Este cenário representa um pequeno esforço para reduzir as emissões futuras. As emissões continuam a aumentar, mas menos rapidamente. Estratégias e políticas de redução foram implementadas, mas não foram implementadas em larga escala.

- **RCP 8.5 - Cenário de altas emissões / Piores Cenários de mudança climática:** Este cenário representa uma abordagem “tudo funcionando normalmente” para a gestão de emissões, sem mudanças. As emissões sob este futuro previsto continuam a aumentar sem nenhum apoio ou política internacional em relação ao clima. Não haverá mudanças comportamentais ou políticas para reduzir as emissões e não serão adotadas soluções com baixo teor de carbono.

Fase 2: Avaliações de vulnerabilidade da infraestrutura e operações chave

Esta fase avalia o impacto potencial dos efeitos da mudança climática no Porto do Açú. As análises se concentram na interpretação do impacto prático das mudanças projetadas nas ondas, vento, nível do mar e chuvas sobre as operações portuárias e estruturas do porto. Dessa forma, os mais importantes condutores externos influentes e as principais atividades e ativos portuários foram considerados em combinação ao longo dos diferentes prazos até 2100, permitindo a avaliação dos aspectos portuários mais críticos. Para isso, foi desenvolvido um amplo inventário desses principais ativos e operações portuárias, permitindo a organização das informações relevantes.

Para a Fase 2, a avaliação considerou os seguintes ativos e operações portuárias fundamentais: Operações de atracação e (des)carga; estabilidade de quebra-mares, cais e berços; sedimentação portuária e volumes de dragagem; e inundação de pátios de terminais e áreas industriais. Como resultados, o estudo apresenta uma visão geral dos perigos potenciais futuros por ativo/operação, possíveis soluções e recomendações para avaliações de acompanhamento quando aplicável.

1. O quinto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) identificou os Caminhos de Concentração Representativa (RCP) para modelar como o clima pode mudar no futuro com base na quantidade de Gases de Efeito Estufa (GEE) emitida. Os RCPs capturam as tendências e esforços futuros para reduzir as emissões e prever como as concentrações de GEE na atmosfera irão mudar no futuro.

RESULTADOS

Os resultados para cada fase são apresentados nas subseções seguintes.

Fase 1 - Projeções climáticas

Nível do mar: Os níveis máximos/extremos de água sob condições existentes (2020) são assumidos na ordem de 2,2 m acima do Quadro de Dados. Até 2100, as projeções de mudança do nível médio do mar são +0,48 m e +0,78 m, considerando RCP4.5 e RCP8.5, respectivamente.

Ventos: A velocidade média do vento deverá aumentar em aproximadamente 10% até o final do século. As referências atualmente disponíveis não indicam nenhum efeito significativo da mudança climática sobre o regime de velocidade máxima do vento (99º percentil) na região do Porto do Açú no século XXI.

Ondas: De acordo com publicações recentes, as mudanças projetadas nas médias sazonais de H (a altura significativa da onda é definida como a altura média da onda, do cavado à crista, do terço das maiores ondas) perto do Porto do Açú são marginais (até ±3%), e ainda menos quando se considera o valor médio de Hs durante todo o ano. As mudanças no período médio das ondas (~-1%)

e na direção média das ondas (~1°) são projetadas para serem pequenas nas regiões offshore do porto e, portanto, são consideradas insignificantes na prática. O mesmo se aplica às Hs99 mais energéticas (altura de onda significativa excedeu 1% do tempo) e às Hs extremas 1 em 100 anos.

Precipitação: As mudanças na precipitação média anual são projetadas para serem limitadas, na ordem de -5% até o final do século. Prevê-se que as chuvas fortes se tornem mais intensas, com um aumento na ordem de 2,5% e 20% até o final do século em relação às condições de 2020, considerando RCP4.5 e RCP8.5, respectivamente. Vale notar que particularmente os grandes intervalos de confiança (ou seja, grandes faixas de incerteza) aplicam-se tanto às projeções de precipitação média anual quanto às de precipitação pesada.

Tabela 1 resume as mudanças nas variáveis analisadas até o final do século XXI, seguindo os resultados da literatura citada dentro do relatório:

Tabela 1. Resumo dos resultados da Fase 1 (Projeções das mudanças climáticas).

Condições ambientais	Cenários Globais de Carbono (RCP)	Regime Médio			Regime Extremo		
		2040	2070	2100	2040	2070	2100
	Intermediário	↑0,09m	↑0,26m	↑0,48m	⊖	⊖	⊖
	Pior caso	↑0,11m	↑0,38m	↑0,78m			
	Intermediário	+1% de mudança na velocidade média anual	+4% de mudança na velocidade média anual	+10% de mudança na velocidade média anual	⊖	⊖	± 2,0% de mudança nos ventos de alta velocidade
	Pior caso						
	Intermediário	⊖	⊖	• Onda média: insignificante • Altura significativa da onda: ↑ +3% inverno, ↓ -3% verão	⊖	⊖	↑ + 2,0% de mudança na Altura Significativa das Ondas
	Pior caso						
	Intermediário	⊖	↓ -2,5% em precipitação média anual	↓ -5,0% em precipitação média anual	⊖	Máximo anual 1 dia Precipitação: +2,5%	Máximo anual 1 dia Precipitação: +2,5%
	Pior caso					Máximo anual 1 dia Precipitação: +7,5%	Máximo anual 1 dia Precipitação: +20%

Nível médio do mar
 Vento
 Ondas
 Chuva
 ⊖ Menor do que as mudanças até 2100 (portanto insignificante)

Deve-se ressaltar que, especialmente para prazos mais longos, as projeções climáticas têm amplas faixas de incerteza. As futuras medidas de mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) a serem tomadas pela sociedade são desconhecidas (ou seja, cenários RCP), o que também aumenta as faixas de incerteza em projeções de longo prazo. A presente campanha de monitoramento fornece bases de dados valiosas para identificar futuros eventos extremos e tendências de mudanças e, portanto, recomenda-se que seja dada continuidade.

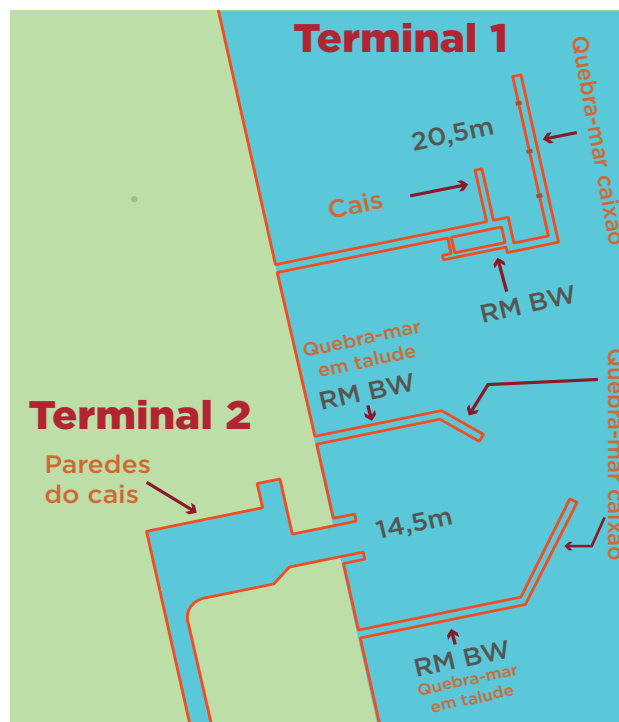
Fase 2 - Impactos nas operações e ativos chave do porto

As projeções de mudanças nas condições ambientais do Porto do Açú devido à mudança climática indicam que a localização do porto é favorável, mostrando geralmente mudanças limitadas em tais condições em relação às mudanças médias globais. Espera-se que as mudanças mais perceptíveis identificadas ocorram nas condições médias de nível do mar, vento e chuvas. Por outro lado, a maioria das operações de (des)carga será influenciada principalmente pelas condições das ondas - e em menor grau pelo vento - e particularmente essas condições não devem mudar muito no local do porto de acordo com as projeções atuais de mudanças climáticas.

ESTRUTURAS PRINCIPAIS DO PORTO - ESTABILIDADE DE QUEBRA-MARES, CAIS E ANCORADOUROS

Dadas as pequenas mudanças projetadas nas condições das ondas na localização do Porto do Açú, as mudanças projetadas na elevação do nível do mar formam o principal efeito influente da mudança climática na estabilidade e desempenho da estrutura. As influências do vento e da chuva sobre tais estruturas geralmente não são normativas. Não se espera que sejam necessários estudos extensos ou medidas de adaptação a curto prazo (década) em relação às principais estruturas portuárias em resposta aos efeitos das mudanças climáticas. Figura 2 ilustra os tipos de estruturas em T1 e T2:

Figura 2. Tipos de estruturas nos terminais 1 e 2



Os projetos dos quebra-mares de caixa (T1 e T2) e quebra-mares em talude (T2) incorporaram a elevação do nível do mar e mudanças no regime de ondas no projeto como descrito em Acciona (2012a, 2012b). O mesmo não pode ser categoricamente declarado para o Cais (T1), quebra-mar em talude (T1) e paredes de cais (T2), pois os relatórios de projeto não estavam disponíveis para análise no presente estudo. Na próxima seção, são feitas algumas recomendações.

■ Estabilidade hidráulica camada de blindagem primária¹

De acordo com as informações e entendimento atuais, diferentes partes das estruturas em talude no porto serão influenciadas pela elevação do nível do mar de diferentes maneiras: a blindagem dianteira não será influenciada, a estabilidade da estrutura dos pés aumentará e somente a estabilidade da blindagem traseira poderá ser influenciada negativamente pela elevação do nível do mar (ou seja, no caso de galgamento excessivo após a elevação do nível do mar). Não é de se esperar que o excesso de galgamento que leva à instabilidade da blindagem traseira se torne um problema nas seções de talude do T2 antes de 2070+.

1. Blindagem primária: grandes unidades de classificação de rochas ou de concreto que formam a camada superior dos taludes dos quebra-mares em talude, proporcionando estabilidade sob as forças das ondas de projeto.

- **Quebra-mares de caixão com estabilidade hidráulica e geotécnica**

Dadas as pequenas mudanças projetadas nas condições das ondas sob a mudança climática para a localização do porto, as cargas das ondas na face vertical dos quebra-mares do caixão ainda terão aproximadamente o mesmo valor máximo projetado. Entretanto, o nível vertical onde esta carga máxima de ondas atuará sobre a estrutura se deslocará para cima junto com a elevação do nível do mar. Isto então influenciará a estabilidade geotécnica, ou seja, a resistência ao capotamento do quebra-mar de caixão.

- **Galgamento sobre os quebra-mares em talude e de caixão**

Espera-se que os quebra-mares de caixão no porto apresentem principalmente um nível de altura diferente no qual as cargas de ondas atuarão sobre tais estruturas, enquanto as próprias cargas de ondas podem permanecer praticamente inalteradas (assumindo que as condições de ondas hoje em dia não sejam limitadas em profundidade). Isto tem influência sobre a estabilidade de deslizamento e de capotagem desses caixões e sobre as forças das ondas que atuam sobre as estruturas adicionais no topo dos caixões.

- **Cargas de ondas (slamming) atuando no convés do cais**

A borda livre líquida do convés se reduz com a elevação do nível do mar e pode resultar em cargas substanciais de slamming das ondas. Os conveses dos pontões do Porto do Açú foram projetados em uma elevação para evitar completamente as influências da crista das ondas - com base no nível médio da água presente no momento do projeto -, então a margem de segurança em altura assumida no projeto deve ser revisitada para interpretar a possibilidade de impactos das ondas (slamming) no futuro, à medida que o nível médio do mar subir com o tempo.

- **Estabilidade hidráulica e geotécnica das paredes de cais**

As paredes de cais do porto podem ser influenciadas pela elevação do nível do mar, uma vez que exceda o nível da água projetado. Isto se deve à menor eficácia das âncoras

estruturais do solo quando o nível das águas subterrâneas sobe junto com o nível médio do mar. Além disso, junto com a elevação do nível do mar além dos valores incluídos no projeto original, as ondas podem ultrapassar a estrutura do cais, levando a problemas operacionais e possíveis danos estruturais.

OPERAÇÕES PORTUÁRIAS - ATRACAÇÃO E (DES)CARGA

As operações de atracação e (des)carga no Porto do Açú devem ser influenciadas de forma mais crítica pelas condições das ondas e, em menor grau, pelo vento, níveis da água e correntes. Portanto, considerando as projeções da Fase 1, o estudo concluiu as seguintes conclusões principais:

- **Nível médio do mar**



Reduz o bordo livre e pode levar à inundação. Aspectos relacionados ao cais, tais como posições de para-lamas verticais, podem exigir ajustes. As projeções atualmente disponíveis indicam que os pontos de atenção destacados não se tornarão críticos a curto prazo (possivelmente 2070+).

- **Vento**



As condições podem afetar principalmente a operação de certos equipamentos de movimentação de carga, embarcações de manobra e embarcações atracadas em menor escala, particularmente embarcações a granel. Não são necessárias ações de curto prazo.

- **Ondas**



Nas projeções atualmente disponíveis dos efeitos da mudança climática até 2100, particularmente as condições de ondas mostram uma pequena mudança. Isto se aplica a alturas, períodos e direções. Isto significa que não se espera que as operações portuárias no cais consideradas nesta fase sejam severamente impactadas pelos efeitos da mudança climática. Portanto, o porto pode se concentrar na otimização das condições e operações portuárias atuais, especialmente se estas forem de fato influenciadas principalmente pelas condições de ondas (T1 e/ou T2).

IMPACTO ESPERADO DOS EVENTOS DAS CHUVAS

Sob as condições climáticas atuais, os eventos pluviométricos causam interrupções nas atividades de (des)carga no Porto do Açú. As projeções medianas indicam uma redução no número de dias de chuva por ano. Entretanto, dadas as faixas de incerteza associadas nas projeções, a possibilidade de um aumento não pode ser desconsiderada.

A infraestrutura de armazenamento e drenagem das águas pluviais contaminadas no terminal T-MULT já atinge, ocasionalmente, quase sua capacidade máxima nos dias atuais. Isto mostra que há pouca margem no sistema de coleta de escoamento superficial para lidar com qualquer aumento futuro na precipitação. Isto significa que é recomendado um acompanhamento próximo e possíveis ações já a curto prazo.

Os extremos pluviométricos são projetados para aumentar no futuro com 5 a 15% (2070 e 2100, respectivamente), embora as faixas de incerteza associadas sejam bastante amplas - mesmo a curto prazo. Isto significa que o momento e a intensidade da mudança são desconhecidos. Portanto, é possível que a atual capacidade máxima de armazenamento na T-MULT não seja suficiente no futuro, até certo ponto, dependendo de como os cenários de mudança climática previstos se desenvolverão.

SEDIMENTAÇÃO DE PORTOS E VOLUMES DE DRAGAGEM

A compreensão da dinâmica atual dos sedimentos costeiros com base nas informações disponíveis é um ponto de partida essencial para qualquer análise, independentemente da mudança climática. O estudo concluiu o seguinte:

- **Terminal T1:** um condutor primário da sedimentação atual é provavelmente a bacia relativamente profunda e protegida, na qual sedimentos finos em suspensão (plumas) podem facilmente assentar e depositar. Um componente adicional é possivelmente o transporte de sedimentos do fundo marinho local que é interrompido pelas áreas dragadas (especialmente em áreas onde ocorre a

diminuição do fluxo). As contribuições relativas desses componentes não puderam, no entanto, ser verificadas com os dados disponíveis.

- **Terminal T2:** os principais condutores da sedimentação atual são provavelmente a captação do transporte de sedimentos do fundo marinho local que é interrompido pelo canal de navegação (especialmente perto da entrada do porto onde ocorre a diminuição do fluxo e onde se localiza uma “colisão de sedimentos”), e a troca de marés facilitando a entrada e a deposição de sedimentos finos na bacia portuária (levando a depósitos de sedimentos finos). As mudanças observadas nas posições costeiras não estão atualmente contribuindo para a sedimentação nas áreas dragadas.

- **Nível médio do mar:** As profundidades da água aumentarão junto com a elevação do nível do mar. Em geral, isto provavelmente levará a uma redução proporcional das velocidades de fluxo ao ambiente, o que, por sua vez, poderia levar a uma redução tanto das concentrações de pluma quanto do transporte de sedimentos no fundo do mar. Além disso, devido ao aumento do nível da água, o nível da maré mais baixa astronômica irá aumentar. Por sua vez, dada uma profundidade pré-definida, isto levará a uma redução dos níveis de dragagem necessários. A redução potencial na dragagem de manutenção pode chegar a vários décimos de porcentagem até 2100.

- **Ventos:** A velocidade crescente do vento e as condições de fluxo mais persistentes do sul e a propagação mais eficaz das plumas de sedimentos finos do norte e localmente alguma leve captação do transporte de sedimentos podem resultar em um certo aumento da sedimentação. No entanto, espera-se que esses efeitos sejam menores em comparação com as mudanças devidas à elevação do nível do mar.

- **Ondas:** As mudanças potenciais relatadas no clima das ondas são consideradas subordinadas para serem incluídas em uma avaliação dos efeitos potenciais na sedimentação portuária, mesmo para o ano 2100, já que não se espera nenhuma influência significativa na sedimentação.

- **Precipitação:** As mudanças potenciais na precipitação poderiam levar a um aumento ou diminuição significativa das descargas fluviais e das cargas (finas) de sedimentos do rio Paraíba do Sul. Como este é considerado um dos principais condutores da sedimentação no Porto do Açu, é recomendável monitorar como este componente incerto se desenvolverá no futuro.

RESUMO DA FASE 2

Não são identificados riscos significativos para os principais ativos e operações portuárias a curto

prazo (década) relacionados à mudança climática na área portuária. As projeções atualmente disponíveis indicam efeitos geralmente suaves das mudanças climáticas aos parâmetros analisados também no final do século (2070+), limitando as consequências para as operações e infraestrutura. Entretanto, as incertezas da projeção climática se tornam mais amplas a longo prazo, fazendo avaliações de monitoramento e atualização de importância primordial dentro das próximas décadas.

Tabela 2 relaciona as projeções climáticas (perigo) com os ativos e operações críticas do porto (vulnerabilidade).

Tabela 2. Resumo dos resultados da Fase 2: Projeções climáticas e avaliação de vulnerabilidade



Nível do mar

PROJEÇÕES 2100:
0,48m - 0,78m elevação do nível do mar

Avaliação de vulnerabilidades:

- Nenhum impacto sobre a atracação, serviços de (des)carga, sedimentação portuária ou inundação.
- A estabilidade e a capacidade de manutenção das principais estruturas portuárias devem ser monitoradas a curto prazo e podem exigir ações a longo prazo (>2070).



Vento

PROJEÇÕES 2100:
10% de aumento na velocidade média anual e 2% de aumento em eventos extremos

Avaliação de vulnerabilidades:

- Necessidade de um monitoramento próximo da movimentação de cargas sensíveis ao vento e manobras de navios - pode exigir ações de adaptação a longo prazo.



Ondas

PROJEÇÕES 2100:
Altura significativa da onda: +3% inverno, -3% verão

Avaliação de vulnerabilidades:

- As mudanças projetadas são muito pequenas - alcançando efeitos perceptíveis apenas por volta de 2100.
- Os limites das ondas operacionais existentes devem, portanto, ser atingidos no futuro da mesma forma que o são agora.



Chuva

PROJEÇÕES 2100:
Redução de 5% na precipitação média anual com aumento de 2,5% - 20% em eventos extremos

Avaliação de vulnerabilidades:

- Terminais secos a granel mais vulneráveis a eventos extremos de chuva (ou seja, escoamento contaminado).
- T-MULT: drenagem com pouca margem para lidar com futuros aumentos de pluviosidade. Monitoramento próximo e possíveis ações necessárias a curto prazo.

Tabela 3 sintetiza os principais resultados com base nos aspectos relacionados às mudanças climáticas com prazos mais curtos e mais longos. Os riscos indicativos representam as mudanças nas condições de condução (ou seja, nível do mar, ventos, ondas e precipitação). A vulnerabilidade de operações e componentes de infraestrutura específicos está

relacionada à sua sensibilidade às condições de mudança e à capacidade de adaptação. Os riscos potenciais são proporcionais ao produto dos perigos e da vulnerabilidade. A classificação de perigos, vulnerabilidade e riscos em categorias considerando os diferentes componentes forçadores e portuários é inevitavelmente subjetiva.

Geralmente, a incerteza e/ou a força dos perigos aumenta do curto (década) para o longo prazo (2070+). Quando combinado com a vulnerabilidade de operações ou componentes de infraestrutura específicos, isto tipicamente leva a um aumento dos riscos potenciais associados a horizontes temporais

mais distantes no futuro. Se no futuro as projeções atuais provarem ter subestimado as mudanças nas condições ambientais, tal análise de sensibilidade será útil para identificar os riscos potenciais sob tais condições mais adversas, embora atualmente inesperadas.

Tabela 3. Resumo dos resultados da Fase 2: Avaliação de vulnerabilidades

Aspectos relacionados às mudanças climáticas		Prazo mais curto (década)					Prazo mais longo (2070+)						
		Perigo	Vulnerabilidade	Nível do mar	Ventos	Ondas	Precipitação	Perigo	Vulnerabilidade	Nível do mar	Ventos	Ondas	Precipitação
Trabalhabilidade e tempo ocioso	Reduzir a borda livre (inundação, aspectos relacionados com o cais)	o	**					*	**				
	Forças e movimentos induzidos por ondas em navios	*	***					**	***				
	Forças e movimentos induzidos pelo vento em navios	*	o					**	*				
	Manuseio de carga (sensível ao vento)	*	***					**	***				
	Manobras	*	***					**	***				
Estabilidade das principais estruturas portuárias	Camada de blindagem primária estabilidade hidráulica	o	**					*	**				
	Quebra-mares de caixão com estabilidade hidráulica e geotécnica	o	**					*	**				
	Galgamento de ondas sobre os quebra-mares em talude e de caixão	o	**					*	**				
	Cargas ondulantes (batidas) atuando no convés do cais	o	***					*	***				
	Paredes de cais de estabilidade hidráulica e geotécnica	o	**					*	**				
Sedimentação de portos e volumes de dragagem	Condições locais para sedimentação	o	**					*	**				
	Transporte regional em direção ao porto	*	*					**	*				
	Abastecimento fluvial de sedimentos finos	**	*					**	*				
	Sedimentação relacionada à praia	o	**					*	**				
Impactos esperados dos eventos de chuva	Operações de (des)carregamento (carga geral, minério de ferro)	**	***					***	***				
	Drenagem em terminais com escoamento contaminado	**	***					***	***				
	Drenagem em outros terminais	**	*					***	*				

Riscos em potencial: ■ Benéfico ■ Ações possivelmente necessárias ■ Acompanhamento de perto Neutro Não Aplicável

Força e/ou Incerteza o * ** ***
Menos → Mais

MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO E RECOMENDAÇÕES

Após uma análise detalhada de todos os resultados da Fase 2, o estudo concluiu que as medidas de adaptação não são necessárias a curto e médio prazo (portanto, a Fase 3 foi descartada). Os projetos de parte das estruturas que compõem o Porto do Açú já consideraram variações relacionadas à mudança climática e à gestão do porto. Seguindo os padrões internacionais de controle e desempenho, estes aspectos foram decisivos para avaliar a necessidade de adotar medidas de adaptação.

Entre os aspectos relacionados à resiliência à mudança climática, as seguintes medidas já implementadas ou em implementação se destacam como pontos fortes do Porto do Açú:

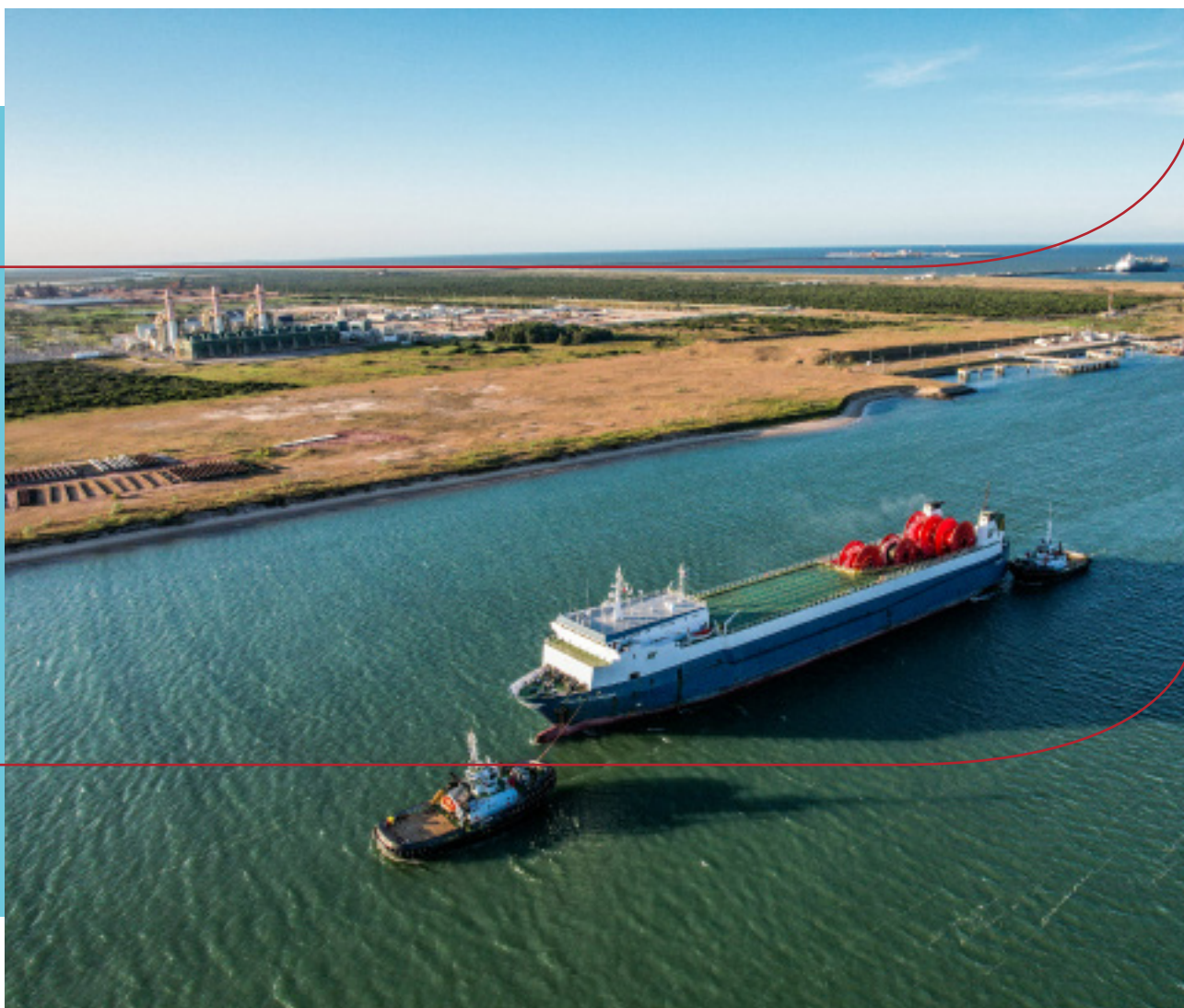
- **Medidas estruturais:** estruturas já projetadas com padrões de mudança climática, VTS, planejamento de dragagem de manutenção, melhoria dos sistemas de drenagem, inclusão de projeções de elevação do nível do mar em futuros projetos de infraestrutura.
- **Medidas não estruturais:** monitoramento meteoceanográfico e sistemas de alerta, gerenciamento e resposta a crises e emergências, programas de manutenção preditiva, gerenciamento de eventos extremos, adoção de boas práticas de trabalho, envolvimento das partes interessadas no planejamento de opções de gerenciamento de enchentes, plano estratégico do porto e planejamento de adaptação à mudança climática.

Embora não haja previsão de necessidade de adaptação no Açú, algumas recomendações são feitas para melhorar a resiliência operacional dos portos. Com as ações recomendadas, espera-se que o porto seja capaz de manter e melhorar sua operacionalidade e desempenho a curto prazo, enquanto permanece vigilante e preparado para possíveis mudanças nas condições ambientais no futuro.

Um conjunto de recomendações a serem implementadas para aumentar a resiliência climática do porto:

- Continuar e melhorar a coleta de dados de parâmetros relevantes (vento, ondas, níveis de água, precipitação). As medidas das ondas devem ser ampliadas para incluir as ondas de infragravidade.
- Verificar diferentes fontes de informações climáticas atuais offshore (por exemplo, ERA-5, NOAA ou bancos de dados comerciais), incorporar os conjuntos de dados medidos nos últimos anos dentro do porto e garantir que o conjunto de dados mais recente, consistente e de alta qualidade para um local de produção representativo (e profundidade da água) seja aplicado em outros projetos de desenvolvimento portuário, juntamente com a consideração de mudanças futuras projetadas nas condições.
- Analisar nos próximos anos as condições de carga hidráulica utilizadas nos projetos originais do cais do T1, o quebra-mar em talude do T1 e as paredes do cais do T2, concentrando-se no impacto da elevação do nível do mar. Essas avaliações devem fornecer uma visão da vulnerabilidade dessas estruturas (atualmente incertas devido à limitada informação disponível) e, portanto, definir melhor os riscos potenciais a longo prazo relacionados com os efeitos da mudança climática.
- Realizar medições adicionais para aumentar ainda mais a compreensão da dinâmica sedimentológica na área portuária e em torno dela e associar com os estudos desenvolvidos pela Fundação Coppetec (2021).
- Avaliar especificamente a influência do rio Paraíba do Sul na região (contribuição de sedimentos e enchentes).

- Investigar medidas potenciais para reduzir o assoreamento dos portos (independentemente dos efeitos da mudança climática). Isto pode levar a grandes reduções nos volumes de dragagem de manutenção anual e nos custos operacionais.
- Investigar se o conceito de “navegar na lama” é uma abordagem adequada para o porto. Se viável e aplicável, isso também pode resultar em grande economia de custos para o Porto.
- Incorporar os resultados na concepção de projetos futuros.
- Atualizar as avaliações descritas neste relatório a cada 10-20 anos para incorporar possíveis expansões portuárias, mudanças operacionais e para verificar tendências e desenvolvimentos, à medida que a experiência com operações portuárias evolui, mais dados de medição se tornam disponíveis e as tendências de mudanças em parâmetros relevantes se tornarão mais explícitas e verificáveis.



CONCLUSÕES

Os estudos realizados avaliaram a vulnerabilidade do Porto do Açu a futuros cenários climáticos e estabeleceram as necessidades de adaptações, como parte do Gerenciamento de Mudanças Climáticas do Porto.

Os resultados desses estudos, resumidos neste relatório, mostram que as projeções atualmente disponíveis indicam mudanças geralmente limitadas nas condições climáticas ambientais nas próximas décadas, concluindo que a localização do porto pode ser considerada favorável do ponto de vista da mudança climática. Os resultados também indicam que possivelmente ocorrerão mudanças mais relevantes a longo prazo (2070+) no nível médio do mar, no vento e nas condições de precipitação.

Não foi prevista a necessidade de novas medidas de adaptação a curto e médio prazo. No entanto, algumas recomendações são feitas para melhorar a resiliência das operações portuárias. Com as ações recomendadas, espera-se que o porto seja capaz de manter e melhorar sua operacionalidade e desempenho a curto prazo, permanecendo vigilante e preparado para possíveis mudanças nas condições ambientais no futuro.

As avaliações descritas devem ser atualizadas a cada 10-20 anos para incorporar possíveis expansões portuárias, mudanças operacionais e para verificar tendências e desenvolvimentos. Isto é especialmente relevante à medida que mais dados de medição estiverem disponíveis, as tendências de mudanças em parâmetros relevantes se tornarão mais explícitas e verificáveis e as projeções climáticas futuras se tornarão mais detalhadas e precisas.

Os resultados obtidos serão incorporados ao futuro planejamento portuário, fornecendo fundamentos técnicos para novos investimentos, projetos de engenharia e aumento da resiliência do porto. As recomendações serão integradas no gerenciamento de riscos corporativos, onde a implementação será monitorada para garantir o acompanhamento e uma governança adequada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acciona (2012a). Instalações Offshore – Civil, Tx1 - Obras Marítimas – Quebramar, Critérios de Projeto, AÇU-3.CPR-1.1010-10-ACI-001 (Project no. 33211014).

Acciona (2012b). Instalações Offshore – Civil, Tx2 – Obras Marítimas – Quebramar, Critérios de Projeto, AÇU-3.CPR-1.2010-10-ACI-001 (Project no. 33211013).

Fundação Coppetec. (2021). Análises hidro-sedimentológicas para planejamento de dragagens de manutenção – Porto do Açu.

Deltares. (2021). Climate change effects and their impacts to port operations: Phase 1 - Port of Açu, Brasil (Document no. 11206140-000-HYE-0001).

Deltares. (2022). Climate change effects and their impacts to port operations: Phase 2 - Port of Açu, Brasil (Document no. 11206140-000-HYE-0002).

GLOSSÁRIO:

AR	Relatório de avaliação do IPCC
ERA5	Reanálise atmosférica do clima global
GEE	Gases de Efeito Estufa
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
NOAA	Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (EUA)
RCP	Vias de concentração representativas
T-MULT	Terminal Multicarga do Porto do Açu
T1	Terminal 1 do Porto do Açu
T2	Terminal 2 do Porto do Açu
VTS	Serviço de Tráfego de Embarcações

