UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA

DIEGO LOURENÇO CARTACHO

Proposta de desenvolvimento sustentável para o Porto de Santos
SOOPS – *SANTOS OFFSHORE-ONSHORE PORT SYSTEM*

São Paulo
2021

Prof. Dr. Vahan Agopyan
Reitor da Universidade de São Paulo

Profa. Dra. Liedi Légi Bariani Bernucci
Diretora da Escola Politécnica da USP

Prof. Dr. José Carlos Mierzwa
Chefe do Departamento de Engenharia Hidráulica

DIEGO LOURENÇO CARTACHO

Proposta de desenvolvimento sustentável para o Porto de Santos

SOOPS – *SANTOS OFFSHORE-ONSHORE PORT SYSTEM*

Versão Corrigida

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração Engenharia Hidráulica

Orientador. Prof. Dr. Paolo Alfredini

São Paulo

2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, ____ de ____ de ____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Cartacho, Diego Lourenço

Proposta de desenvolvimento sustentável para o Porto de Santos SOOPS / D. L. Cartacho -- versão corr. -- São Paulo, 2021.
202 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Departamento de Engenharia de Hidráulica e Ambiental.

1.Portos Marítimos 2.Portos I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Hidráulica e Ambiental II.t.

CARTACHO, DIEGO LOURENÇO. Proposta de desenvolvimento sustentável para o Porto de Santos. SOOPS – *SANTOS OFFSHORE-ONSHORE PORT SYSTEM*. 2021, 202 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

Banca Examinadora

Prof. Dr.	Paolo Alfredini
Instituição	Escola Politécnica da USP
Julgamento	
Prof. Dr.	Aluisio de Souza Moreira
Instituição	Santos Port Authority (já Companhia Docas de Santos)
Julgamento	
Prof. Dr.	Carlos Daher Padovezi
Instituição	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
Julgamento	
Prof. Dr.	Michel Michaelovitch de Mahiques
Instituição	Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo
Julgamento	
Prof. Dr.	Eduardo Siegle
Instituição	Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo
Julgamento	

*Às razões da minha vida;
Luca e Angélica.*

AGRADECIMENTOS

À minha querida companheira e esposa, Angélica, por todo apoio, inspiração e participação nessa jornada.

Ao meu filho, Luca, nosso maior professor, fonte inesgotável de luz e amor.

Aos queridos professores, orientadores, amigos e incentivadores Prof. Dr. Paolo Alfredini e Dra. Emilia Arasaki, pela segurança e por acreditarem até o fim. Pessoas marcantes para o resto da vida.

Aos meus pais e irmão por tudo o que fizeram e continuam fazendo por mim.

À Promon Engenharia pelo apoio ao aprendizado continuado e abertura à fusão da Academia com a prática. Aos colegas João Pedro, Victor Torezani, Helena Amorim, Carla Contrera, Juliana Vergílio, Rafael Sakai pela ajuda e paciência.

À Escola Politécnica da USP, pela estrutura fantástica de aprendizado e espaço de conhecimento, instituição pela qual nutro um profundo carinho, sentindo-me muito honrado por minha formação profissional e científica terem sido forjadas por ela.

RESUMO

CARTACHO, DIEGO LOURENÇO. Proposta de desenvolvimento sustentável para o Porto de Santos. SOOPS- *SANTOS OFFSHORE-ONSHORE PORT SYSTEM*. 2021. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

No dia 2 de fevereiro de 2021, o Porto de Santos (Brasil) completou 129 anos como porto organizado. Durante este período, com mais de 16 km de cais, tornou-se o principal ponto de entrada e saída de mercadorias do Brasil e quarto maior porto da América em movimentação de contêineres. Entretanto, a capacidade de crescimento do porto apresenta limitações como: terras ao redor para expansões de terminais; profundidade e largura natural do canal de acesso, o qual necessita constantes dragagens; incapacidade de receber novas gerações de navios; além de aspectos ambientais, como elevação do nível do mar, destruição dos manguezais e ressacas frequentes devido às mudanças climáticas. Portanto, a expansão do maior porto da América Latina deve ocorrer por meio de um planejamento em longo-prazo, embasada nos modernos conceitos de Portos Sustentáveis, os quais priorizam a análise sistêmica e integrada entre os elementos Sociedade, Meio-ambiente e Economia. Apresenta-se uma quebra do atual modelo de desenvolvimento, em direção ao interior do Estuário de Santos, para um crescimento em direção ao mar (águas profundas), nos moldes dos principais portos do mundo (Rotterdam, Le Havre, Shanghai). Esta pesquisa propõe um novo modelo locacional de desenvolvimento para o Porto de Santos, seguindo os mais recentes e inovadores conceitos de Portos Sustentáveis, como: (1) integração de novas tecnologias de transporte de carga, (2) novo posicionamento de berços de atracação em águas profundas, (3) minimização de impactos em ambientes costeiros, (4) diminuição da necessidade de dragagens e (5) maior capacidade tecnológica de recebimento de navios de grande porte com calados até 16,00 m.

Palavras-chave: Porto sustentável. Porto *offshore*. Engenharia Portuária. Porto de Santos. Porto-ilha. Hubport. SOOPS, LASH

ABSTRACT

CARTACHO, DIEGO LOURENÇO. A sustainable development proposal for the Port of Santos. SOOPS-SANTOS OFFSHORE-ONSHORE PORT SYSTEM. 2021. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

On the second day of February two thousand twenty-one, the Port of Santos completed 129 years, as an organized port. During this period, it became the main channel of entry and exit of Brazilian goods, and fourth position of container movements in Latin America; with more than 16 km of quays. Notwithstanding its relevant numbers and status, the growth capacity of the Port of Santos is compromised with some functional aspects, such as: restricted surrounding areas; natural depth and width of main channel, which needs constantly dredging and does not meet the large vessels; climate changes, represented by sea level rise and frequently storm surges. Therefore, the expansion of the largest Latin America port must take into account a long-term planning based on the modern concepts of Sustainable Ports, which prioritize an integrated approach amongst Society, Environment and Economy. Thus, it is suggested a breaking paradigm from the current inside estuarine development to deep water growth (towards the open sea) such as the most important ports around the world (Rotterdam, Le Havre, Shanghai). Finally, this research shows a new development location approach for Port of Santos, following the concepts of Sustainable Ports philosophy, such as: (1) innovative technologies and trends; (2) new berths in deep water; (3) minimizing environmental impacts on coastal zone; (4) decreasing dredging demands; (5) most efficient technologies to receive ships with draught up to 16 meters.

Keywords: Sustainable ports. Offshore ports. Port Engineering. Port of Santos. Port-island. Hubport. SOOPS. LASH.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução do modelo portuário	32
Figura 2 – Porto de Santos e principais conexões terrestres com sua hinterlândia..	34
Figura 3 – Porto de Santos e principais conexões ferroviárias com sua hinterlândia	34
Figura 4 – Matriz de amarração desta pesquisa e relações de causa e efeito esperadas.....	38
Figura 5 – Histórico mundial de carga carregada (M t/ano) por tipo de carga	50
Figura 6 – Porto tradicional e problemas recorrentes em estuários.....	53
Figura 7 – Pátio de estocagem de contêineres junto ao cais de atracação do Terminal Santos Brasil no Porto de Santos-SP	54
Figura 8 – Pátio de estocagem de contêineres e ponte de acesso aos berços no Porto do Pecém-CE.....	55
Figura 9 – Setorização em planta e elevação da operação de contêineres em cais tradicional (planta e corte típico).....	56
Figura 10 – Evolução da capacidade e calado dos navios de contêineres de 1970 a 2020.....	58
Figura 11 – Operação de contêineres no Porto de Rotterdam, Terminal APM, Países Baixos, durante pôr do sol no Mar do Norte	61
Figura 12 – Porto de Santos e antigos Terminal 33 e Terminal 35 de contêineres ..	62
Figura 13 – Identificação do comprimento do cais do Terminal 33 e do Terminal 35 para o Porto de Santos.....	63
Figura 14 – Imagens do Cais do Terminal 33. Pavimentação em paralelepípedo e trilhos existentes (à esquerda) e linha de cais com defensas obsoletas para operação de navios de contêineres de grande porte (à direita)...	63
Figura 15 – Proposição de reforço do cais do Terminal 33 para rebaixamento de leito do berço de atracação para cota - 16,00 m (CHM-DHN-Marinha).....	64
Figura 16 – Atual cais do Terminal 35 com cota -13,50 m e estimativa de rebaixamento de leito no berço de atracação para cota - 16,00 m (CHM-DHN-Marinha)	66
Figura 17 – Reforço do cais do Terminal 35 para rebaixamento de leito no berço de atracação para cota - 16,00 m (CHM-DHN-Marinha)	67
Figura 18 – Planta típica de reforços estruturais para atracação de novos navios...	69
Figura 19 – Corte típico de reforços estruturais para atracação de novos navios	70
Figura 20 – Porto de Suape e identificação de cotas e Cais Sul	73
Figura 21 – Corte típico do Cais Sul do estaleiro do Porto de Suape/Pernambuco..	74
Figura 22 – Identificação dos trechos para o estudo de dragagem no Porto de Suape/Pernambuco	77
Figura 23 – Modelo 3D com canal dragado para navios de calado 14,50 m	80
Figura 24 – Seções transversais do quebra-mar de talude para referência no estudo comparativo com quebra-mar de parede vertical de caixão em concreto armado (dimensões em metros).....	85
Figura 25 – Seções transversais do quebra-mar de parede vertical de caixão em concreto armado para estudo comparativo com quebra-mar de talude (dimensões em metros)	87
Figura 26 – Serviços ecossistêmicos comuns aos ecossistemas costeiros.....	114
Figura 27 – Porto de Santos-Praia do Consulado no início do Século XIX	124
Figura 28 – Visão geral do Porto de Santos e algumas vistas do porto	126

Figura 29 – Movimentação total de carga no Porto de Santos de 2011 a 2020 (em claro o total do ano e em escuro o acumulado até novembro).....	128
Figura 30 – Visão geral do Porto de Santos e mapeamento dos tipos de cargas ao longo do Estuário de Santos	133
Figura 31 – Visão geral do Porto de Santos e identificação dos trechos de acessibilidade náutica	134
Figura 32 – Visão geral do trecho interno do canal de acesso do Porto de Santos. Em primeiro plano a margem esquerda e ao fundo o morro da desembocadura	137
Figura 33 – Visão geral da Baía de Santos, canal de acesso ao e indicação das cotas -15,00 m (CHM-DHN-Marinha) e -20,00 m (CHM-DHN-Marinha)	140
Figura 34 – Arranjo portuário da alternativa 1, com dois molhes de talude convergentes, cais com dársenas e ponte de acesso com pista dupla para carretas	142
Figura 35 – Arranjo portuário da alternativa 2 com quebra-mar de talude de alinhamento em “U”, cais com dársenas e ponte de acesso para veículos leves e monotrilhos	143
Figura 36 – Modelo 3D do arranjo portuário da alternativa 2	144
Figura 37 – Arranjo portuário da alternativa 3 com quebra-mar de talude de alinhamento em “L”, obras de atracação com dois <i>fingers</i> e um cais no tardoz da perna sul do quebra-mar, com ponte de acesso para veículos leves e monotrilhos	146
Figura 38 – Arranjo portuário para alternativa 4 com quebra-mar de parede vertical de caixão em concreto armado com alinhamento em “L”, cais conteneiro incorporado no tardoz do quebra-mar e dois <i>fingers</i> , com acesso via hidroviária.....	147
Figura 39 – Modelo 3D para terminal <i>offshore</i> da Alternativa 3 com quebra-mar de talude em enrocamento e transferência de contêineres por monotrilho	148
Figura 40 – Rosa de ondas em águas profundas próximas ao Porto de Santos entre 1979 e 2017. Altura de onda (m) e direção (°)	149
Figura 41 – Rosa de ondas em águas profundas próximas ao Porto de Santos entre 1979 e 2017. Período de onda (s) e direção (°)	150
Figura 42 – Arranjo da alternativa 3 com sobreposição das rosas de onda de altura e período para o Porto de Santos	151
Figura 43 – Quebra-mar da alternativa 3 e indicação das seções transversais	152
Figura 44 – Seção AB do quebra-mar para alternativa 3 (cotas batimétricas CHM-DHM-Marinha).....	153
Figura 45 – Seção CD do quebra-mar para alternativa 3 (cotas batimétricas CHM-DHM-Marinha).....	154
Figura 46 – Seção Cabeço 1 do quebra-mar para alternativa 3 (cotas batimétricas CHM-DHM-Marinha)	155
Figura 47 – Seção Cabeço 2 do quebra-mar para alternativa 3 (cotas batimétricas CHM-DHM-Marinha)	156
Figura 48 – Posição do terminal <i>offshore</i> para Alternativa 4 com sobreposição das rosas de ondas de altura e período em águas profundas	159

Figura 49 – SOOPS para Alternativa 4 com sobreposição das ondas de E com altura e período assinalado em águas profundas.....	160
Figura 50 – SOOPS para Alternativa 4 com sobreposição das ondas de S com altura e período assinalado em águas profundas.....	161
Figura 51 – SOOPS-Planta geral do terminal offshore	162
Figura 52 – SOOPS-Planta geral do terminal onshore 19,5 km distante do terminal offshore.....	163
Figura 53 – Visão geral do terminal offshore previsto para o Porto de Venezia/Itália e sistema de integração.....	168
Figura 54 – Vista do carregamento de chatas no píer de barcaças e <i>Mama Vessel</i> com duas chatas acopladas para o sistema de integração	169
Figura 55 – Fluxograma operacional previsto para o SOOPS	170
Figura 56 – Fluxograma operacional previsto para o SOOPS no cenário de 2,48 MTEUs/ano.....	173
Figura 57 – Fluxograma operacional previsto para o SOOPS no cenário de máxima eficiência (4,98 M TEUs/ano)	175
Figura 58 – Corte típico do cais para navios contêineres com plataforma em concreto armado pré-moldado e portêineres.....	178
Figura 59 – Planta conceitual do cais para navios contêineres com plataforma em concreto armado pré-moldado e portêineres.....	179
Figura 60 – Corte típico do píer para barcaças com plataforma em concreto armado pré-moldado e portêineres.....	182
Figura 61 – Planta do píer barcaças com plataforma em concreto armado pré-moldado, equipamentos de manuseio de contêineres, berços para chatas e <i>Mama Vessel</i>	183
Figura 62 – Monotrilhos de contêineres para transporte automatizado sem necessidade de caminhões	184
Figura 63 – Detalhe da plataforma de elevação (ou rebaixamento) de contêineres para transferência do chão ao monotrilho	185
Figura 64 – Modelagem 3D da solução final do porto <i>offshore</i> (cais para navios contêineres, monotrilhos e portêineres sobre estrutura em concreto armado)	187
Figura 65 – Corte típico do píer de GNL com plataforma esqueada ao centro e operações <i>ship to ship</i> nos berços	188
Figura 66 – Terminal <i>onshore</i> para chatas de contêineres e futuras dârsenas para granéis sólidos (flexibilidade).....	191

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Portos Públicos no Brasil e responsabilidades administrativas	46
Quadro 2-Portos Marítimos e movimentação anual de cargas no Brasil em	48
Quadro 3-Tipos de navegação e tipos de carga por ano nos portos marítimos brasileiros de 2010 a 2020 em M t/ano e % do total.....	49
Quadro 4-Portos brasileiros (publicos e TUPs) com movimentação acima de 20 Mt/ano de 2014 a 2019.....	51
Quadro 5-Maiores navios de contêineres em operação 2020	58
Quadro 6-Categorização de navios conteneiros para o Canal do Panamá	60
Quadro 7-Flexibilidade portuária e conceitos associados.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativa de custos para reforços de cais para rebaixamento de leito para Terminal 33-Base de custos 2020.....	65
Tabela 2 – Estimativa de custos para reforços de cais para rebaixamento de leito para Terminal 35-Base de custos 2020.....	68
Tabela 3 – Estimativa de custos para reforços de cais para atracação de maiores navios para Terminal 33-Base de custo 2020	71
Tabela 4 – Estimativa de custos para reforços de cais para atracação de maiores navios para Porto de Suape-Base de custos 2020	75
Tabela 5 – Estimativa de custos para reforços de cais para aprofundamento de berço para Porto de Suape-Base de custos 2020.....	75
Tabela 6 – Cálculo da profundidade mínima necessária do canal de acesso e bacia de evolução para navio <i>New Panamax</i> (calado máximo operacional 13,50 m) no Porto de Suape/Pernambuco	78
Tabela 7 – Cálculo da profundidade mínima necessária das bacias de berço para navio <i>New Panamax</i> (calado máximo operacional 13,50 m) no Porto de Suape/Pernambuco.....	78
Tabela 8 – Cálculo da profundidade mínima necessária do canal de acesso e bacia de evolução para navio <i>New Panamax</i> (calado máximo operacional 14,50 m) no Porto de Suape/Pernambuco	79
Tabela 9 – Cálculo da profundidade mínima necessária das bacias de berço para navio <i>New Panamax</i> (calado máximo operacional 14,50m) no Porto de Suape/Pernambuco.....	79
Tabela 10 – Cálculo da largura do canal de acesso interno em função da boca do navio de projeto no Porto de Suape/Pernambuco.....	80
Tabela 11 – Estimativa de volume de dragagem para cada trecho e cada cenário no Porto de Suape/Pernambuco	82
Tabela 12 – Estimativa de custos (R\$) para os respectivos volumes (m ³) de quebramar de talude em enrocamento	84
Tabela 13 – Características geométricas do caixão na seção transversal.....	86
Tabela 14 – Estimativa de custos para quebramar de parede vertical de caixão em concreto armado	88
Tabela 15 – Movimentação dos tipos de carga (em t) e tipo de navegação no Porto de Santos de 2011 a 2020 (não considera o mês de dezembro/2020)	130
Tabela 16 – Movimentação acumulada de contêineres no Porto de Santos (em TEUs e t), por terminal, em 2019	131
Tabela 17 – Características dos navios que atracaram no Porto de Santos em 2020 (não considera dezembro de 2020)	132
Tabela 18 – Movimentação de cargas (TEUs) da série história do Porto de Santos e variação em relação ao ano anterior	165
Tabela 19 – Projeção de movimentação de contêineres para o Porto de Santos até 2060 a partir de correlação com evolução do PIB do Brasil.....	167
Tabela 20 – Requisitos operacionais para o cenário estudado (2,48 M TEUs/ano)	174

Tabela 21 – Requisitos operacionais para o cenário de máxima movimentação (4,98 M TEUs/ano)..... 176

LISTA DE SÍMBOLOS, VARIÁVEIS E ABREVIATURAS

BRG	<i>Bestaand rotterdams Gebied</i> - Área existente do Porto de Rotterdam antes da expansão do Maasvlakte 2
BwN	<i>Building with Nature</i>
CDC	Companhia Docas do Ceará
CDP	Companhia Docas do Pará
CDRJ	Companhia Docas do Rio de Janeiro
CIPP S/A	Cia. De Desenvolvimento do Complexo Industrial e Portuário do Pecém
CODEBA	Companhia Docas da Bahia
CODERN	Companhia Docas do Rio Grande do Norte
CODESA	Companhia Docas do Espírito Santo
CODESP	Companhia Docas do Estado de São Paulo
COMAP	Cia. Municipal de Administração Portuária
DCSA	Companhia Docas de Santana
DCSS	Companhia Docas de São Sebastião
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DOCAS-PB	Companhia Docas da Paraíba
dwt	Deadweight tonnage
EBTU	Empresa Brasileira de Transportes Urbanos
EMAP	Empresa Maranhense de Adm. Portuária
ESPO	<i>European Sea Ports Organisation</i>
LOA	<i>Lenght overall</i> (Comprimento total do navio)
Minfra	Ministério de Infraestrutura
MV2	Maasvlakte 2
PIANC	<i>The World Association for Waterborne Transport Infrastructure</i>
PIB	Produto Interno Bruto
SCPar	SC participações e Parcerias S.A.
SEP/PR	Secretaria de Portos da Presidência da República
SOOPS	Santos Offshore-Onshore Port System
SOPH-RO	Soc. De Porto e Hidrovia do Estado de Rondônia
SPA	Santos Port Authority (antiga CODESP)
SPI	Superintendência do Porto de Itajaí
STS	Ship to Shore Cranes
Suape	Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros Leite
SUPRG	Superintendência do Porto de Rio Grande
TEU	Twenty-foot Equivalent Unit
tpb	Tonelagem de Porto Bruto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	29
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA.....	31
1.2	OBJETIVOS	35
1.3	JUSTIFICATIVA	35
1.4	MÉTODO DE TRABALHO	37
2	FUNDAMENTAÇÃO DE PROJETOS PORTUÁRIOS CONTEMPORÂNEOS	39
2.1	INFRAESTRUTURA NO BRASIL: BREVE ANÁLISE HISTÓRICA	39
2.2	SETOR PORTUÁRIO BRASILEIRO: PANORAMA GERAL	41
2.3	INFRAESTRUTURA PORTUÁRIA E IMPACTOS DA EVOLUÇÃO DOS NAVIOS DE CONTÊINERES	52
2.3.1	Navios de contêineres: frota atual e tendências para o futuro	52
2.3.2	Problemas da Engenharia Contemporânea: impactos das adaptações em estruturas existentes pelo aumento das dimensões dos navios	60
2.4	OBRAS DE ABRIGO DE QUEBRA-MAR DE TALUDE X DE PAREDE VERTICAL 82	
2.4.1	Quebra-mar de talude em enrocamento	82
2.4.2	Quebra-mar de parede vertical em concreto armado pré-moldado	86
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE PORTOS SUSTENTÁVEIS.....	89
3.1	DEFINIÇÃO DE PORTOS SUSTENTÁVEIS.....	91
3.2	ASPECTOS RELEVANTES PARA O PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DE PORTOS SUSTENTÁVEIS	93
3.3	PORTOS FLEXÍVEIS	94
3.3.1	O Papel dos portos flexíveis no cenário atual	94
3.3.2	Riscos Associados	97
3.3.3	Conceito tradicional de planejamento portuário	98
3.3.4	Flexibilidade nos Planos Diretores	99
3.3.5	Modelo estrutural para gerenciar incertezas	100
3.3.6	A flexibilidade na infraestrutura portuária	101
3.3.7	Análise dos riscos	103
3.3.8	Implementando o APP – <i>Adaptative Port Planning</i>	104
3.4	PORTO DO FUTURO	106
3.4.1	Influência e pressão do desenvolvimento portuário sobre o ecossistema costeiro e estuarino	106
3.4.2	Influência do meio físico sobre os portos	109
3.4.3	Modelos de gestão e governança	110
3.4.4	Fundamentação socioeconômica do desenvolvimento portuário	113
3.4.5	Manutenção de biodiversidade	117
3.5	PORTO CONCENTRADOR DE CARGA	119
4	ESTUDO DE CASO PARA O PORTO DE SANTOS.....	121

4.1	PORTO DE SANTOS E SEU PIONEIRISMO NA HISTÓRIA PORTUÁRIA BRASILEIRA	121
4.2	PORTO DE SANTOS E SUA RELEVÂNCIA NACIONAL	127
4.3	PORTO DE SANTOS E SUA INFRAESTRUTURA QUANTO A ESPAÇOS NÁUTICOS	133
4.4	PORTO DE SANTOS E SEUS DESAFIOS	135
4.5	SOOPS -CONCEPÇÃO PARA TERMINAIS DE CONTÊINERES	138
4.6	SOOPS- ALTERNATIVAS PARA ARRANJOS DO TERMINAL <i>OFFSHORE</i> . 140	
4.6.1	Alternativa 1 – terminal na cota – 15,00 m (CHM-DHN-Marinha) e obras de abrigo com molhes de talude convergentes	140
4.6.2	Alternativa 2 – terminal na cota -15,00 m (CHM-DHN-Marinha) e obra de abrigo com quebra-mar de talude de alinhamento em forma de “U”	142
4.6.3	Alternativa 3 – terminal na cota – 15,00 m (CHM-DHN-Marinha) e obra de abrigo com quebra-mar de talude de alinhamento em “L”	144
4.6.4	Alternativa 4 – terminal na cota -17,00 m (CHM-DHN-Marinha) e obra de abrigo com quebra-mar de parede vertical de caixão em concreto armado com alinhamento em “L” 146	
4.7	SOOPS- DESENVOLVIMENTO DA ALTERNATIVA 3	148
4.8	SOOPS- DESENVOLVIMENTO DA ALTERNATIVA 4	157
4.9	ESTIMATIVAS LOGÍSTICAS PARA O PORTO DE SANTOS NAS PRÓXIMAS DÉCADAS	164
4.9.1	Projeção da movimentação de contêineres até 2060	164
4.9.2	Estudo Logístico hidroviário para o SOOPS	168
4.9.3	Cais e obra de abrigo das ondas- sistema integrado de caixão em concreto armado	176
4.9.4	Pier para barcas	180
4.9.5	Transferência de contêineres entre o cais para navios conteneiros e o pier para barcas via monotrilhos	184
4.9.6	Energia Limpa e novo terminal <i>offshore</i> de GNL	187
4.9.7	Terminal <i>onshore</i> para recepção e expedição de contêineres dentro do estuário 189	
4.9.8	CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS E DE PRAZO	192
5	DISCUSSÃO	194
6	CONCLUSÃO	197
7	REFERÊNCIAS	198

1 INTRODUÇÃO

Este Capítulo 1 abordou a abertura da pesquisa com a contextualização do tema e sua relevância científica e prática. Apresentou-se a preocupação com as expansões dos portos estuarinos dentro das áreas abrigadas, onde há o conflito com a Sociedade já desenvolvida ao redor das atividades econômicas e, sobretudo, pela degradação de áreas molhadas como manguezais. A desorganização de portos centenários, como o caso do Porto de Santos, é justificada pelas drásticas alterações mercadológicas e operacionais do porto. Notam-se distintas naturezas de movimentação de cargas no mesmo espaço, além do conflito dos modais de transporte, como ferrovias e rodovias que disputam as áreas de retroporto. A preocupação com eficiência logística e preservação ambiental são tratadas de formas reativas, onde as medidas são majoritariamente tomadas a partir do problema expostos. Portanto, prevendo-se a intensificação destes problemas no Porto de Santos, apresentou-se o plano de pesquisa o qual se iniciou com a fundamentação de projetos portuários contemporâneos.

O papel da infraestrutura nos países em desenvolvimento vai além de investimentos em energia, telecomunicações e mobilidade. Trata-se da integração territorial, estímulo à economia, criação de empregos e desenvolvimento social. Especificamente, os portos são elementos importantes na cadeia logística dos países por representarem a conexão de diferentes modais de transporte, além de influenciarem no comportamento da sociedade e meio ambiente. O conceito de que portos são somente locais onde os navios são carregados e descarregados vem sendo ampliado por uma estrutura mais complexa, transparente e integrada entre os agentes envolvidos, denominado Porto Sustentável. O setor portuário, por sua natureza multidisciplinar e, pela sua importância na infraestrutura e economia dos países, apresenta características desafiadoras a serem pesquisadas de forma integrada.

No contexto brasileiro, o desenvolvimento da infraestrutura, historicamente, apresentou lacunas relevantes, sobretudo por indefinições, incertezas políticas e falta de planejamento de longo prazo. Os investimentos em infraestrutura são regidos pela pressão econômica, causada pela depreciação da capacidade instalada dos ativos. Ou seja, à medida que o país necessita de investimentos, esses são feitos com

limitação de planejamentos e restrita abordagem sistêmica. Portanto, crescimento econômico e desenvolvimento sustentável representam um dos maiores desafios a serem aplicados conjuntamente nas próximas décadas, sobretudo na Engenharia Portuária e Obras Hidráulicas que apresentam relevantes interações entre homem e meio ambiente. Apesar de esses dois movimentos parecerem antagônicos e divergentes, propõe-se nesta pesquisa que desenvolvimento sustentável represente um caminho importante para alcançar o crescimento econômico e, sobretudo, fator chave para as atividades comerciais e operacionais. Consequentemente, a visão integrada do tripé sustentável: Economia, Sociedade e Meio Ambiente, deve ser aplicado como prática recorrente na Engenharia, gerando oportunidades não descobertas, e não apenas atendendo requisitos legais para obtenção de licenças.

As atividades associadas ao desenvolvimento dos portos, como necessidade de terras, dragagens e implantação de novas infraestruturas e terminais, podem ocasionar impactos negativos nos ecossistemas locais e regionais, sobretudo para os portos estuarinos que, ao longo dos anos, foram instalados em áreas naturalmente abrigadas. Diante deste contexto, tradicionalmente, as licenças ambientais focam em medidas de implantação, mitigação e compensação, que permitem ações seguras para o desenvolvimento dos projetos, as quais, na prática, representam processos demorados e onerosos. Entretanto, conceitos pioneiros de construir com a Natureza (*Building with Nature*), Portos Flexíveis (*Flexible Ports*) e Portos Sustentáveis (*Sustainable Ports*), visam quebrar esse paradigma por meio de uma mudança de comportamento, afastando-se da atual postura defensiva e adotando-se ações proativas de geração de valor, por meio da integração dos elementos sociais, econômicos e ecológicos.

Inspirado nos resultados acadêmicos do Consórcio holandês formado, entre outras, pelas instituições *Port of Rotterdam*, WWF, Deltares, TU Delft, Imares e Boskalis, o qual desenvolveu a abordagem de Porto do Futuro (*Port of the Future*), esta pesquisa baseia-se no desenvolvimento das infraestruturas portuárias para o Porto de Santos em águas profundas, criando espaço para o restabelecimento ambiental e social dentro do estuário. Adiciona-se ao conceito original de Porto do Futuro, o elemento de conexão entre as instalações em águas *offshore* e a área *onshore*, por meio hidroviário, ampliando o atual Sistema Hidroviário Interior da Baixada Santista. Assim, a proposta para esta combinação foi denominada SOOPS - *Santos Offshore-Onshore Port System*.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

De simples armazéns e trechos de cais, antes rudimentares, os portos formam hoje complexos sistemas (Figura 1), onde o transbordo de contêineres é incorporado em suas múltiplas funções operacionais. Esses sistemas, em seus terminais, dotados de diferentes configurações, instalações e atividades, solicitam densa integração para a realização harmônica de suas operações, principal objeto de qualquer porto. Entretanto, à medida que os portos evoluem para áreas de intensa relação entre modais de transportes (marítimo, fluvial, ferroviário, rodoviário, aeroportuário e tubulações), maiores necessidades de capacidade estática e demanda elevada por eficiência logística, geram-se crescimentos desordenados da infraestrutura, sobretudo em portos estuarinos, onde a natural área abrigada passa a ser limitante de crescimento e expansão portuária. Como consequência, o transporte de cargas em contêineres ganha relevância pela padronização, confiabilidade e otimização de espaços, tornando os portos mais industrializados com automação e linhas bem definidas de movimentação (recepção, estocagem, expedição). Nas últimas décadas, associado à história dos centros de distribuição, o avanço de conhecimentos permitiu combinar o transporte da navegação de longo e pequeno curso (cabotagem) com a localização estratégica de instalações portuárias. Nesses atuais portos concentradores, agora, com curta permanência de armazenagem, realiza-se transbordo de contêineres entre os navios de grande porte, da navegação transoceânica, e os navios de médio e pequeno porte, da navegação costeira de cabotagem.

Figura 1 – Evolução do modelo portuário

Fonte: adaptado de Moreira (2009)

O crescimento e processo de adaptações do Porto de Santos ocorreu sem visão de longo-prazo. O porto encontra-se localizado no Estuário de Santos, Estado de São Paulo, tendo completado em 2 de fevereiro de 2021 cento e vinte e nove anos como porto organizado. Durante este período, sua localização estratégica (Figura 2 e Figura 3) e, sobretudo, por meio de 7,8 Mm², 16 km, 66 berços de atracação, 55 terminais e canal de acesso dragado para a cota - 15,50 m (CHM-DHN-Marinha), tornou-se o principal ponto de entrada e saída de mercadorias do Brasil, e quarto maior porto da América em movimentação de contêineres (SANTOS PORT AUTHORITY, 2020). Entretanto, a capacidade de crescimento do porto apresenta limitações, como terras ao redor para expansões de terminais, profundidade e largura natural do canal de acesso, os quais necessitam constantes dragagens, incapacidade de receber novas gerações de navios, além de aspectos ambientais, como adaptações à elevação do nível do mar, destruição dos manguezais, ressacas mais frequentes (mudanças climáticas) aumentando as taxas de assoreamento do Canal de Acesso na Barra de Santos e carências de políticas de longo-prazo.

Portanto, a expansão do maior porto da América Latina deve ocorrer por meio

de um planejamento técnico de longo-prazo, fundamentado nos modernos conceitos de Portos Sustentáveis, os quais priorizam a análise sistematizada e integrada entre os elementos Sociedade, Meio-ambiente e Economia. Sugere-se uma quebra do atual modelo de desenvolvimento, em direção ao interior do Estuário de Santos, para um crescimento em direção ao mar (águas mais profundas¹), nos moldes dos principais portos do mundo (Rotterdam, Shangai, Le Havre e Genova são exemplos), empregando como modelo de referência o porto concentrador de carga (*hubport*), com ênfase em contêiner (MOREIRA, 2009).

Diante deste contexto, esta pesquisa apresenta um novo modelo de desenvolvimento para o Porto de Santos, seguindo o conceito de Portos Sustentáveis, por meio de: (1) terminais em águas profundas (*offshore*) de forma a posicionar o Porto de Santos na rota dos grandes navios conteneiros até 2060; (2) propiciar que os atuais terminais no interior do Estuário de Santos recebam carga de contêineres e granéis das grandes embarcações (calados maiores que 15,00 m) com o mínimo de intervenção possível; (3) minimização de impactos ambientais em ambientes costeiros por meio de navegação interior e transbordo de cargas entre o porto *offshore* com os terminais *onshore*, (4) diminuição da dependência de dragagens, (5) aumentar a eficiência de conexões com outros modais de transporte (ferrovias, rodovias e aeroportos) e, (6) atrair a geração de energia limpa na zona portuária.

¹ Para Engenharia Portuária, águas profundas referem-se às lâminas de água, ao largo, compatíveis com os calados dos navios (aproximadamente 20,0m). Já para a Oceanografia, tratam-se de profundidades onde as ondas não sofrem processos de deformação (aproximadamente maiores que o dobro de seu comprimento).

Figura 2 – Porto de Santos e principais conexões terrestres com sua hinterlândia

Fonte: adaptado de Google Maps (2020)

Figura 3 – Porto de Santos e principais conexões ferroviárias com sua hinterlândia

Fonte: adaptado de Google Maps (2020)

1.2 OBJETIVOS

Tendo em vista a exposição apresentada, esta pesquisa visa responder à seguinte questão: como planejar por meio de desenvolvimento sustentável o Porto de Santos até 2060, evitando os típicos problemas estuarinos atuais, para atendimento às tendências globais de crescimento dos navios contêneiros, soluções para os passivos de sedimentos contaminados, à eficiência na movimentação de cargas, à geração de energia renovável?

Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa é propor um modelo de desenvolvimento locacional *offshore* para o Porto de Santos a partir até 2060, em consonância com a data estabelecida no Plano Mestre para o Complexo Portuário de Santos (MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, 2019). Este modelo propõe uma conexão coerente com o conceito de sustentabilidade entre o terminal *offshore* e os atuais terminais do porto (*onshore*). A ideia é de que se forme o chamado SOOPS - *Santos Offshore-Onshore Port System*, com alta capacidade de competitividade e eficiência, atrelado aos conceitos de Portos Sustentáveis.

1.3 JUSTIFICATIVA

O sistema porto é um antigo e importante modelo na área de transportes de carga. Associado a essa relevância, nas últimas décadas, além de grande demanda, os modelos portuários vêm incorporando diversificadas componentes e complexas formas. Dessa forma, a contribuição deste trabalho preenche uma lacuna no planejamento portuário, contribuindo para melhorar as seguintes questões:

- Localizações.
- Ordenamento de terminais.
- Arranjo das instalações.
- Integrações e harmonizações de operações.
- Balanceamento da capacidade e da demanda entre sistemas.
- O modelo da política portuária.

São poucas as pesquisas realizadas no Brasil que contemplam a configuração do arranjo e ordenamento dos portos com função centralizadora de carga sob o

conceito de portos sustentáveis. Trata-se efetivamente de uma combinação de variáveis de fenômenos complexos. A essa lacuna é somada a questão da política portuária, considerada como um conjunto de diretrizes indissociáveis do sistema porto. A consolidação de preceitos de gestão é uma forte ferramenta da garantia do investimento e do planejamento perene, da capacitação do recurso humano, da administração por resultados, estão dentre os princípios para o desenvolvimento do modelo portuário. A longo-prazo, agrava-se a conjuntura, uma vez que os modelos de desenvolvimento portuário, sobretudo os estuarinos, trazem a herança e vícios de administrações imediatistas (ciclos políticos) e confluem na mesma abordagem, diferentes interesses entre privado (terminais especializados), público (administração do porto organizado) e institucional (Municípios, Estados e União). Estes interesses conflitantes exigem uma visão ampla, a longo-prazo, que considere as tendências de crescimento de forma sustentável.

No Brasil, o sistema de transportes não apresenta diretrizes claras de planejamento, assim como há carência de política para o setor. Sucessivamente os planos sofrem interferências políticas e mudanças com prejuízo para todo o ambiente. Os portos, parte integrante dos transportes, apresentam distorcidas configurações e deficiências de política para o setor. Exemplifica-se este diagnóstico com os processos de adaptação de infraestrutura e concessões de terminais de forma desordenada, para atender às pressões logísticas imediatas na movimentação de cargas. Portanto, entender o ativo portuário como uma relação complexa entre agentes é fundamental para o desenvolvimento dos portos ao longo das próximas décadas do Século XXI. Caso contrário, manter-se-á o uso e ocupação das áreas estuarinas com o exclusivo propósito de movimentar o máximo de carga, diante das limitações atuais, às custas de onerosas adaptações de espaços náuticos, estruturas de acostagem e terminais obsoletos.

Neste sentido, buscou-se conhecer como vêm sendo conduzidos os sistemas e políticas dos modelos portuários internacionais que, há longos anos, se destacam como referências mundiais. O entendimento dos exemplos do Porto de Rotterdam, Países Baixos, e suas grandes expansões (Maasvlakte 1 e 2), além dos ambiciosos planos de desenvolvimento para o Porto de Veneza, Itália, formam a base conceitual desta pesquisa. Adicionalmente, propõe-se uma concepção inovadora para a expansão do Porto de Santos direcionada nos três eixos: (1) Porto Flexível (*Flexible Port*), (2) Construir com a Natureza (*Building with Nature*) e (3) Porto do Futuro (*Port*

of the future). Estes eixos correspondem, respectivamente, às demandas atuais de limitação de espaço para grandes navios com tecnologia e energia limpa (Econômico), restauração ambiental (Meio Ambiente) e desenvolvimento junto ao estuário (Social).

Por fim, a partir do arcabouço teórico e identificação das lacunas de conhecimento recorrentes aos portos estuarinos, propõe-se para o Porto de Santos o sistema flúvio-marítimo, integrador logístico, denominado SOOPS, é composto por terminais concentradores (*hub*) em águas profundas (*offshore*) com integração ao antigo porto estuarino (*onshore*) por meio de sistemas limpos e tecnológicos.

1.4 MÉTODO DE TRABALHO

Pode-se considerar este estudo como uma pesquisa de natureza prescritiva, uma vez que o presente trabalho tem como objetivo a proposição de um conjunto de artefatos (ou seja, de soluções) que relacionam as recentes pesquisas acadêmicas das Escolas Europeias (Países Baixos, Bélgica, Itália e França) com as limitações do atual Porto de Santos. Para tanto, a Figura 4 mostra a matriz de amarração entre a Pesquisa Portuária contemporânea, Questões de Pesquisa, Problemas, Referencial Teórico e Resultados Esperados.

Para se alcançar o objetivo deste trabalho foi necessário desenvolver a sequência elencada a seguir.

- i. Explicação do conceito de portos sustentáveis no sistema portuário;
- ii. Apresentação do método adotado;
- iii. Seleção dos sistemas de referências indicados pelos métodos;
- iv. Viabilização da aplicação do método no estudo de caso;
- v. Seleção dos dados das evidências coletadas;
- vi. Aplicação e desenvolvimento do método no empreendimento portuário do estudo de caso.

Figura 4 – Matriz de amarração desta pesquisa e relações de causa e efeito esperadas

Fonte: autor (2020)

2. FUNDAMENTAÇÃO DE PROJETOS PORTUÁRIOS CONTEMPORÂNEOS

O Capítulo 2 apresentou a fundamentação de projetos contemporâneos com base em experiências reais do autor. Identificou-se que a infraestrutura no Brasil, sobretudo portuárias, são regidas por ciclos econômicos e interesses de diversos grupos. Portanto, historicamente, os investimentos em infraestrutura foram a partir capital público o que representa burocracia, falta de planejamento e obsolescência técnica. A partir dos anos 2000, o investimento privado e sua pressão por retornos financeiros alavancaram os projetos de infraestrutura. Para o setor portuário, surgem os TUPs (Terminais de Uso Privativo) que simbolizam o interesse de investidores e operadores logísticos na capacidade logística do país. O ganho de eficiência do setor logístico e portuário também passa pela revolução das embarcações. Identificou-se a evolução avassaladora dos tamanhos dos navios para ganho de escala, o que caracteriza a intensificação do comércio exterior e pressiona ainda mais as instalações portuárias, sobretudo as estuarinas centenárias. O Brasil, país essencialmente exportador, deve se adaptar à essa tendência sem que se cometam os erros recorrentes das últimas décadas, onde os gargalos aparecem e estimulam as alterações posteriormente.

2.1 INFRAESTRUTURA NO BRASIL: BREVE ANÁLISE HISTÓRICA

No contexto brasileiro, historicamente o desenvolvimento da infraestrutura nacional apresentou lacunas relevantes, sobretudo por indefinições, incertezas políticas e falta de planejamento a longo-prazo. Os investimentos em infraestrutura são regidos pela pressão econômica, causada pela obsolescência da capacidade instalada, ou seja, à medida que o país necessita de investimentos, esses são feitos com restrita abordagem sistêmica. Desde a década de 1930, quando se iniciaram os investimentos nos setores base do país, até os dias de hoje, por meio do protagonismo do capital privado e internacional em sua realidade, a infraestrutura brasileira é movida por ciclos, sem continuidade e, muitas vezes, induzida por interesses políticos. Aproximar a Engenharia Portuária nacional aos avanços contemporâneos é fundamental como ponto de partida para enfrentamento dos problemas atuais no setor, além da construção de estratégias para amadurecimento de empreendimentos

nacionais de envergadura, que vão além da Engenharia, Gerenciamento, Construção, Montagem e Suprimentos.

O desenvolvimento de infraestruturas e indústrias de base iniciou-se nos anos de 1930, por meio da presença forte da União em iniciativas desordenadas e aleatórias, em setores pressionados pela política de restrição às importações adotada pelo governo. Na segunda metade da década de 1950, motivado pelo Plano de Metas, o Brasil deu seu primeiro sinal de estruturação organizacional, visando investimentos em transportes (principalmente em rodovias) e em indústrias complexas (automóveis, siderurgia, cimentos, etc.). De acordo com Mesquita (2010), houve expansão de quase 50% do PIB e de pouco mais de 60% na produção industrial. Entretanto, esse modelo de desenvolvimento foi interrompido pela recessão entre 1960 e 1964, quando a União foi obrigada a remodelar o plano econômico diante das altas inflacionárias e da dívida externa.

Ao final da década de 1960, o país teve uma nova retomada de investimentos, durante o chamado Milagre Econômico. A infraestrutura de base (telecomunicações, petroquímica, ferrovias e rodovias) voltou a ser priorizada por meio de investimentos diretos do governo. Os Planos Nacionais de Desenvolvimento I e II, na década de 1970, representaram o auge da priorização de investimentos da União neste período, quando foram criadas as empresas estatais que gerenciaram as demandas e recursos dos setores chave do país, como exemplo: telecomunicações (Embratel, Telebrás), rodovias (DNIT e DNER), mobilidade urbana (EBTU) e portos (PORTOBRAS), entre outras. Porém, novamente, o ciclo de investimentos foi interrompido. Os anos de 1980 a 1994, conhecidos como "Anos Perdidos", foram marcados pelo desaquecimento da economia internacional, excesso de endividamento público do país, crise inflacionária, cortes de investimentos e recessões.

A partir de 1994, a União, com o reequilíbrio econômico do Plano Real, retomou protagonismo com investimentos em setores deficitários, privatizações e concessões. Como consequência, o país voltou a crescer, porém com um modelo ancorado em capital privado e internacional. Desta maneira, a União aproximou-se do setor privado, delegando a responsabilidade de investimentos e construção de novas infraestruturas, ainda mantendo o controle dos setores através das agências reguladoras. A partir deste novo modelo, iniciado nos anos de 1990, empresas do setor de construção e infraestrutura se consolidaram no mercado nacional, passando a formar grandes corporações, aproveitando-se da proximidade com o governo de turno e, sobretudo,

pela dependência tecnológica da União com estas empresas. Consolidado o protagonismo das empresas privadas no cenário nacional, surgiram as atuais Parcerias Público-Privadas (PPPs), resultantes da incapacidade da União em desenvolver setores importantes da economia de forma autônoma (aeroportos, rodovias, ferrovias, portos, energia, telecomunicações), com a oportunidade de abrangência no mercado das grandes empresas, desta vez atuando tanto na construção dos empreendimentos, quanto na operação e manutenção dos mesmos, por meio de concessões a longo-prazo.

A partir dos anos 2000, o setor privado teve papel relevante no desenvolvimento do país. As concessões apresentaram atratividade para os investidores desde que concebidas de forma transparente e regulada. Portanto, para as próximas décadas do Século XXI são previstos novos ciclos cada vez mais intensos de renovação de concessões e transferências, da operação de ativos ao setor privado. Diante destas previsões, cresce concomitantemente a necessidade de programas de desenvolvimento integrados, com visão a longo-prazo, por parte dos órgãos reguladores e da gestão pública.

2.2 SETOR PORTUÁRIO BRASILEIRO: PANORAMA GERAL

Os portos marítimos e fluviais são elementos fundamentais na dinâmica produtiva dos países, pois constituem a principal porta para importação e exportação de mercadorias, sobretudo pela descentralização da produção industrial e caracterização de nações especializadas em determinados setores. Para países em desenvolvimento, como o Brasil, a dependência do setor portuário aumenta à medida que a balança comercial positiva (exportações superam as importações) resulta do favorável êxodo de commodities agrícolas e minerais. Entender o panorama portuário brasileiro, por meio da interpretação dos dados de movimentação de carga dos principais portos do país é importante.

Em alguns países, a navegação com seus portos, como modal de transporte, são considerados compensação ambiental por percorrerem vias naturais, o mar e os rios, enquanto no Brasil são considerados por muitos vilões do meio ambiente. Obstinadamente são movimentadas milhões de toneladas de cargas em suas distâncias continentais, empregando vias terrestres, de muito maior custo e impacto de implantação e manutenção, menor capacidade de carga, e, proporcionalmente,

maiores emissões nocivas de gases estufa e outros contaminantes. Compare-se a correspondente capacidade de carga em t.km de um comboio de empurra ou de um navio graneleiro com sua equivalência de mais de um milhar de carretas graneleiras, o muito menor investimento para a implantação da hidrovia e das derrotas das linhas de cabotagem, eventuais dragagens ou derrocamentos, com mínimas desapropriações, bem como o muito menor ou nulo desmatamento para criar a via (a via não precisa ser implantada), a vantagem da eficiência energética, o muito menor custo em manter a via do que uma rodovia submetida ao desgaste desmesurado pelo trânsito de veículos pesados (frequentemente acima da carga por eixo para a qual a rodovia e pontes foram projetadas), com o praticamente nulo índice de congestionamentos e os acidentes por mortes ou invalidez permanente no transporte sobre pneus, chega-se ao frete hidroviário e de cabotagem 50% mais barato do que por rodovia. Para implantar 1 km de hidrovia, por exemplo, o custo é de R\$ 24.000,00; em estrada asfaltada R\$ 500.000,00 e em ferrovia R\$ 800.000,00. As mesmas considerações são válidas, ainda com maior ênfase, no transporte marítimo de cabotagem entre os portos nacionais, ou longo curso com outros países da América do Sul, para cujos destinos emprega-se fundamentalmente o transporte rodoviário, Uruguai, Argentina, Chile e Peru, por exemplo.

A principal diferença do desenvolvimento da União Europeia e dos EUA, nossos principais concorrentes comerciais no agronegócio, é a infraestrutura de transporte de cargas. Dispõem de grande intermodalidade de transportes, sendo a hidrovia, os terminais intermodais hidroviários e os portos marítimos a coluna mestra de toda a economia. Os portos e hidrovias são considerados tão estratégicas nos EUA, que é o próprio US Army Corps of Engineers que administra 41.000 km de hidrovias e mais de uma centena de portos marítimos e fluviais. A produção de grãos norte-americanos é essencialmente transportada pelos maiores comboios de empurra do mundo, com até 49 chatas, 420 m de comprimento e 60.000 tpb (equivalente a um navio *Panamax*). Naquele país, o transporte aquaviário responde por 60% da movimentação dos produtos agrícolas e industriais, correspondendo a mais de 700 Mt/ano.

Nos Países Baixos, o célebre Rijkswaterstaat, ou Direção Geral de Obras Públicas e Gerenciamento de Água do Ministério de Infraestrutura e Gerenciamento de Água, fundado em 1798, tem regularmente um orçamento de 5,00 bilhões de Euros, ou R\$ 31,00 bilhões.

O transporte no Brasil representa quase 60% do total de custos logísticos, correspondendo a 12,3% do PIB, em comparação com 7,8% nos EUA. A Nação depende fortemente de rodovias para o transporte de passageiros e carga, no entanto o sistema pavimentado, e em boas condições de trafegabilidade, é reduzido, comparativamente com a dimensão do território nacional. De fato, com quase 2 milhões de km de extensão, somente 12,4% são pavimentadas. O sistema ferroviário tem 30,6 mil km com inúmeros gargalos operacionais e 15% do fluxo total de cargas. O sistema hidroviário interior e a cabotagem, estão engatinhando, com infraestrutura e instalações de baixa qualidade e capacidade.

A deficiente infraestrutura para o transporte de cargas muito compromete a economia da Nação, agregando valor elevado aos produtos e insumos nos diversos setores da economia, especialmente nos setores agrícolas e extrativistas. Por outro lado, limita o crescimento de empregos que poderiam ser criados, principalmente nestes setores, em vista da falta de competitividade acarretada pelos custos destes produtos e insumos, que ficam impossibilitados de serem levados ao mercado externo e mesmo de serem consumidos internamente. Por último, é responsável por outro grande problema, agora de natureza social, que é o exagerado acúmulo de caminhões de alta tonelagem nas estradas e nas vias urbanas. Esses veículos de carga, vindos de longínquas origens, ocupam a maior parte da capacidade de tráfego das vias, causando enorme desconforto e insegurança ao transporte coletivo e individual, que deveriam ser os usuários preferenciais da rodovia. Com efeito, o emprego em larga escala da rodovia por caminhões de grande porte, originários de locais situados a mais de 1.000 km de distância, é um fator de grande risco para os demais usuários, além do desconforto de ter que disputar espaço na rodovia com veículos de mais de 30 a 60 t.

A solução recomendável para esse estado de coisas é retirar das rodovias os caminhões pesados originados ou com destino a locais distantes. Somente no Brasil emprega-se a rodovia para o transporte por distâncias transcontinentais. Em todas as nações desenvolvidas e civilizadas do mundo, a prioridade no transporte é das hidrovias, cabotagem e ferrovias, não significando descartar o modal rodoviário; muito pelo contrário, esta perspectiva de redução do custo global do transporte, propiciado por um moderno sistema, centrado na hidrovia, cabotagem e ferrovia, permitirá o surgimento de inúmeras atividades industriais, agroindustriais, agrícolas e extrativistas, que se tornarão economicamente viáveis, principalmente nas longínquas

regiões do Centro, Norte e Oeste do País. Os caminhões retirados das grandes rodovias-eixo e das áreas urbanas por elas atendidas, atuarão nas vicinais alimentadoras e nas vicinais distribuidoras, em condições muito mais confortáveis, porque trabalharão em uma mesma região de origem.

O eixo de transporte de massa aquaviário, complementado por ferrovia, que transporta uma grande quantidade de carga, necessita de um sistema intermodal de transporte de cargas. As vicinais alimentadoras e distribuidoras mais adequadas são do modal rodoviário, encarregadas de coletar as cargas em suas microrregiões de origem para levá-las aos terminais intermodais junto ao eixo de transporte de massa e vice-versa, sendo que no caso de granel líquido pode-se dispor também de dutovias onde chegam ou partem as vicinais alimentadoras é fundamental dispor de uma integração intermodal, que se constitui no conjunto de instalações, equipamentos e processos operacionais, que permitem otimizar a operação de transbordo entre os veículos de carga de um sistema intermodal de transporte de cargas. Estes terminais intermediários deverão existir nos terminais de fim-de-linha, que são os portos marítimos, ou onde o eixo de transporte de massa muda do modal hidroviário para o ferroviário, ou vice-versa.

No Brasil, a ANTAQ (Agência Nacional de Transportes Aquaviários) é o órgão responsável pela regulação e supervisão das atividades relacionadas à infraestrutura de transportes aquaviários e atua nos portos organizados, TUPs (Terminais de Uso Privativo), navegação de longo curso, cabotagem, fluvial, entre outros (ANTAQ, 2020) e está submetida ao Ministério de Infraestrutura (MInfra). Para os portos marítimos públicos, a União, por intermédio do Minfra, delega a gestão dos ativos para demais entidades municipais, estaduais e Companhia Docas, conforme Quadro 1.

De acordo com Ministério da Infraestrutura (2020), o Sistema Portuário Nacional delega a administração dos 37 portos marítimos públicos brasileiros a três grupos de Autoridades Portuárias: (1) Companhias Docas que se relacionam diretamente à União (ex. Porto de Santos/SP administrado pela SPA), (2) Administrações Portuárias Estaduais ou Municipais por intermédio de empresas especiais (ex. Portos do Paraná que gerencia os portos públicos do Estado do Paraná) e, (3) Portos Autorizados (ex Terminal Portuário do Pecém). Apesar do aparente nível de descentralização da Gestão Portuária Nacional, identifica-se que os principais portos do país ainda são submetidos ao aparato estatal e às tradicionais burocracias e processos controlados pelo Estado.

Em complemento aos portos marítimos públicos, há também os TUPs (Terminais de Uso Privativo) e ETC (Estações de Transbordo de Cargas) os quais são majoritariamente representados pela ATP (Associação de Terminais Portuários Privativos), que congrega 56 terminais e 29 empresas, e são responsáveis pela movimentação superior a 60% da carga portuária do Brasil (ATP- ASSOCIAÇÃO DE TERMINAIS PORTUÁRIOS PRIVADOS, 2020).

Quadro 1- Portos Públicos no Brasil e responsabilidades administrativas

Porto	Estado	Cia. Docas	Delegação	Autorização
Santos	SP	SPA	-	-
Angra dos Reis	RJ	CODERJ	-	-
Itaguaí	RJ	CODERJ	-	-
Rio de Janeiro	RJ	CODERJ	-	-
Niterói	RJ	CODERJ	-	-
Barra do Riacho	ES	CODESA	-	-
Vitória	ES	CODESA	-	-
Salvador	BA	CODEBA	-	-
Aratu	BA	CODEBA	-	-
Ilhéus	BA	CODEBA	-	-
Areia Branca	RN	CODERN	-	-
Natal	RN	CODERN	-	-
Maceió	RN	CODERN	-	-
Fortaleza	CE	CDC	-	-
Santarém	PA	CDP	-	-
Belém	PA	CDP	-	-
Vila do Conde	PA	CDP	-	-
Forno	RJ	-	Municipal	-
Santana	AP	-	Municipal	-
Itajaí	SC	-	Municipal	-
Suape	PE	-	Estadual	-
Manaus	AM	-	Estadual	-
Porto Velho	RO	-	Estadual	-
Rio Grande	RS	-	Estadual	-
Cachoeira do Sul	RS	-	Estadual	-
Porto Alegre	RS	-	Estadual	-
Pelotas	RS	-	Estadual	-
Paranaguá	PR	-	Estadual	-
Antonina	PR	-	Estadual	-
São Sebastião	SP	-	CDSS	-
Recife	PE	-	Porto do Recife SA	-
Cabedelo	PB	-	Docas PB	-
Itaqui	MA	-	EMAP	-
São Francisco do Sul	SC	-	SCPAR	-
Imbituba	SC	-	SCPAR	-
Laguna	SC	-	SCPAR	-
Pecém	CE	-	-	CIPP SA

Fonte: (MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, 2020)

Além do entendimento de autarquias e administrações portuárias no país é relevante a abordagem estatística das movimentações, tipos de cargas, tipos de

navegação e evolução anual dos principais portos. Ressalta-se a importância da centralização e transparência de dados no banco da ANTAQ, os quais fundamentam as análises.

O Quadro 2 relaciona os dados da última década em relação à movimentação de carga nos portos marítimos brasileiros. Como referenciado pela (ATP- ASSOCIAÇÃO DE TERMINAIS PORTUÁRIOS PRIVADOS, 2020), os TUPs representam mais de 60% da movimentação nacional, o que se explica pela influência das exportações de minério e combustíveis, majoritariamente operados em terminais privados. Adicionalmente, identifica-se a preponderância de cargas embarcadas (aproximadamente 70%) em relação às cargas desembarcadas (aproximadamente 30%), o que evidencia a vocação de país exportador, uma vez que a cabotagem ainda apresenta pequena representatividade. Identificam-se os crescentes índices de movimentação total de cargas. Desde 2015, o país movimenta acima de 1,00 bilhão de toneladas por ano em seus portos marítimos. Como comparação, segundo UNCTAD - United Nations Conference on Trade and Development (2020), os portos marítimos da Europa movimentaram 3,95 bilhões de toneladas (carregadas e descarregadas) em 2017 (sua última atualização disponível). Já para os portos asiáticos, foram registrados 11,00 bilhões de tonelada no mesmo ano que, somados a outros continentes, totalizaram 21,36 bilhões de toneladas (carregadas e descarregadas) nos portos do mundo.

Logo, ressalta-se que o Brasil representa aproximadamente 5% da movimentação de carga do mundo.

Quadro 2-Portos Marítimos e movimentação anual de cargas no Brasil em
Mt/ano e % do total

Ano	Instalação	Carga	Embarque	Desembarque	Total
2020 (até setembro)	Privada	556,51	578,95	270,60	849,55
	Pública	293,03	68%	32%	
2019	Privada	733,18	747,62	356,44	1.104,06
	Pública	370,88	68%	32%	
2018	Privada	747,50	779,17	342,98	1.122,15
	Pública	374,65	69%	31%	
2017	Privada	722,74	755,00	332,81	1.087,81
	Pública	365,06			
2016	Privada	659,98	694,92	307,91	1.002,83
	Pública	342,85	69%	31%	
2015	Privada	656,67	696,09	312,22	1.008,30
	Pública	351,64	69%	31%	
2014	Privada	620,05	642,27	326,61	968,88
	Pública	348,83	66%	34%	
2013	Privada	592,67	619,28	310,07	929,35
	Pública	336,69	67%	33%	
2012	Privada	587,56	606,42	297,98	904,40
	Pública	316,84	67%	33%	
2011	Privada	576,55	593,49	293,91	887,40
	Pública	310,85	67%	33%	
2010	Privada	543,00	562,73	277,42	840,15
	Pública	297,15	67%	33%	

Fonte: (ANTAQ, 2020)

Com o objetivo de avaliar os tipos de navegação e perfis das cargas, apresenta-se o Quadro 3, no qual nota-se a relevância da navegação de longo curso (aproximadamente 70%) em relação à cabotagem (aproximadamente 22%), o que evidencia a dependência portuária nacional de exportações por meio de grandes embarcações (logística em escala para granéis). Ao analisarem-se os dados dos tipos de carga, identificou-se que a década de 2010 representa o domínio das cargas a granel; aproximadamente 60% para sólidos e 25% para líquidos, quando comparadas às cargas gerais soltas e contêineres.

Quadro 3-Tipos de navegação e tipos de carga por ano nos portos marítimos brasileiros de 2010 a 2020 em M t/ano e % do total

Ano	Longo Curso	Cabotagem	Interior	Apoio Portuário	Apoio Marítimo	Granel Sólido	Granel Líquido e Gasoso	Carga Contêiner	Carga Geral Solta
2020 (até setembro)	598,60	194,29	54,27	1,47	0,91	520,59	203,96	85,63	39,36
	70%	23%	6%	0%	0%	61%	24%	10%	5%
2019	793,98	240,91	65,42	2,21	1,54	680,72	252,11	116,89	54,34
	72%	22%	6%	0%	0%	62%	23%	11%	5%
2018	825,17	231,43	60,81	2,43	2,30	716,45	235,31	113,32	57,07
	74%	21%	5%	0%	0%	64%	21%	10%	5%
2017	804,52	222,78	56,84	1,86	1,81	696,03	230,77	107,59	53,41
	74%	20%	5%	0%	0%	64%	21%	10%	5%
2016	743,46	213,97	41,36	2,46	1,59	630,39	221,89	100,15	50,41
	74%	21%	4%	0%	0%	63%	22%	10%	5%
2015	753,98	210,77	38,77	2,50	2,28	633,12	226,88	100,43	47,88
	75%	21%	4%	0%	0%	63%	23%	10%	5%
2014	713,63	211,75	38,91	2,94	1,65	589,48	232,23	101,13	46,05
	74%	22%	4%	0%	0%	61%	24%	10%	5%
2013	684,20	205,22	36,05	2,53	1,35	569,13	219,28	97,49	43,45
	74%	22%	4%	0%	0%	61%	24%	10%	5%
2012	670,54	197,49	31,89	3,30	1,17	554,70	217,46	87,34	44,91
	74%	22%	4%	0%	0%	61%	24%	10%	5%
2011	657,47	192,76	30,93	3,87	2,36	544,67	212,42	84,29	46,03
	74%	22%	3%	0%	0%	61%	24%	9%	5%
2010	622,04	182,10	29,59	4,59	1,84	511,11	209,89	74,17	44,98
	74%	22%	4%	1%	0%	61%	25%	9%	5%

Fonte: (ANTAQ, 2020)

Ao compararem-se os indicadores brasileiros do Quadro 2 e Quadro 3 com os dados mundiais, nota-se divergência da matriz de cargas na logística nacional em relação às tendências internacionais. De acordo com a Figura 5, as últimas quatro décadas apresentaram aumento relevante da carga por contêineres no transporte marítimo global. Na década de 1980, a movimentação unitizada era 3% da matriz mundial. Já na década de 2010 essa modalidade representava aproximadamente 17%. A comparação do transporte mundial com os dados do Brasil aponta que o país ainda está na metade da transformação de sua matriz de cargas, com potencial de duplicação das cargas em contêineres para a próxima década. Portanto, espera-se elevada demanda nos portos para operações de contêineres.

Figura 5 – Histórico mundial de carga carregada (M t/ano) por tipo de carga

Fonte: (UNCTAD- UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT, 2020)

O Quadro 4 apresenta dados aprofundados sobre os portos nacionais (Públicos e TUPs). Verifica-se que o TMPM (Terminal Marítimo de Ponta da Madeira), localizado no Estado do Maranhão, apresenta-se com a maior movimentação anual do Brasil (acima de 100 M t/ano) devido à dedicação em exportação de granéis sólidos. Para os portos públicos, o Porto de Santos destaca-se com movimentação próxima dos 100 M t/ano, porém com diversificação de cargas de exportações e importações.

Quadro 4-Portos brasileiros (publicos e TUPs) com movimentação acima de 20 Mt/ano de 2014 a 2019

	Porto	Administração	Estado	2019	2018	2017	2016	2015	2014
Portos com movimentação acima de 20 Mt/ano	Ponta da Madeira*	Privada	MA	190,11	198,11	169,79	148,67	124,60	112,53
	Santos'	Pública	SP	106,21	107,07	106,54	96,94	101,58	94,04
	Tubarão	Privada	ES	76,35	103,91	109,25	108,03	113,66	109,81
	Angra Dos Reis	Privada	RJ	51,90	42,87	42,31	38,31	37,14	35,06
	Paranaguá	Pública	PR	48,46	48,52	45,56	40,05	41,08	41,60
	Itaguaí	Pública	RJ	43,19	56,64	52,94		57,30	63,85
	São Sebastião	Privada	SP	43,16	44,06	49,33	46,47	48,81	53,11
	Rio Grande	Pública	RS	25,80	27,17	26,17	24,11	22,93	22,45
	Itaqui	Pública	MA	25,17	22,40		58,76	21,82	
	Suape	Pública	PE	23,89	23,44	23,63	22,75		
	Açu - Minério	Privada	RJ	23,04					
	Ilha Guaíba	Privada	RJ	21,01	41,18	43,55	46,14	46,65	40,54
	Ponta Ubu	Privada	ES					26,45	25,92
	Demais portos < 20M t/ano			425,76	406,78	418,73	372,59	366,29	369,98
	Total do País			1.104,06	1.122,15	1.087,81	1.002,83	1.008,30	968,88

Fonte: (ANTAQ, 2019) * Em 2020 191,2 Mt/ano ' Em 2020: 146,5 Mt/ano considerando todos os terminais do Estuário de Santos

2.3 INFRAESTRUTURA PORTUÁRIA E IMPACTOS DA EVOLUÇÃO DOS NAVIOS DE CONTÊINERES

2.3.1 Navios de contêineres: frota atual e tendências para o futuro

A análise do panorama geral da movimentação de cargas nos portos nacionais apresentado no item 2.1 identifica a importância do sistema voltado à exportação de grãos sólidos e líquidos. Entretanto, a baixa proporção das cargas em contêineres indica que o país deve sofrer alta demanda para este tipo de estrutura portuária nas próximas décadas, se comparadas à tendência do aumento deste tipo logístico mundialmente. De acordo com Vessel Tracking (2020), o conceito de transporte de cargas por navios de contêineres mudou o mundo e representa elemento fundamental para a globalização. Ademais, o autor ressalta que os maiores navios contêineres oferecem redução massiva de custos de transporte e sua maior eficiência indica a crescente demanda por embarcações cada vez maiores.

Logo, este item da pesquisa refere-se à análise das operações portuárias tradicionais para contêineres e os impactos técnicos e econômicos já identificados em projetos de Engenharia, a partir do aumento das demandas por maiores navios e transferência de cargas.

Tradicionalmente, os portos mais antigos (sobretudo os estuarinos) apresentam similaridades nos diagnósticos de problemas estruturais. A importante publicação da Deltares (2014), adaptada e apresentada na Figura 6 indica que um dos fatores essenciais a serem resolvidos para os portos do futuro é a dificuldade em acompanhamento das demandas de grandes embarcações e a dependência da dragagem para adaptações dos espaços náuticos.

As operações de recepção e expedição de contêineres dependem da proximidade dos navios contêineres do pátio de estocagem, uma vez que a carga deve ser deslocada via caminhões (TT- *Terminal Tractors*²). Portanto,

² *Terminal Tractors (TTs)* são veículos sobre rodas (caminhões) conduzidos por motoristas que fazem o circuito interno de movimentação de contêineres dentro do terminal. São responsáveis, por exemplo, para levar a carga do cais para as áreas de estocagem. Não apresentam a função de retirada

especificamente para este tipo de operação, os portos dentro de estuários (Ex. Porto de Santos) apresentam limitação de espaços náuticos, lâminas de água e elevada dependência de dragagem, sendo mais suscetíveis às mudanças de frotas e aumento de navios, conforme mostrado na Figura 7.

Figura 6 – Porto tradicional e problemas recorrentes em estuários

Fonte: adaptado de Deltares (2014)

de elementos dos navios (como portêineres ou *STS- Ship to Shore Cranes*), tampouco de organização de pilhas nos pátios (transtêineres, equipamentos móveis, empilhadeiras).

Figura 7 – Pátio de estocagem de contêineres junto ao cais de atracação do Terminal Santos Brasil no Porto de Santos-SP

Fonte: (MERCOPRESS, 2018)

Já os terminais ao largo (*offshore*), por estarem em águas profundas, apresentam maior adaptabilidade aos navios com grandes calados (Figura 8). Em contrapartida, necessitam maiores investimentos em obras de abrigo, quebra-mares (maciços não enraizados na costa) ou molhes (estruturas enraizadas na costa) e, sobretudo, pontes de acesso que interligam a retroárea aos berços.

Figura 8 – Pátio de estocagem de contêineres e ponte de acesso aos berços no Porto do Pecém-CE

Fonte: (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2020)

Os terminais de contêineres dos portos estuarinos apresentam similaridade em seus Planos Diretores, conforme apresentado em fluxograma conceitual na Figura 9. O Setor A, denominado bacias de berço são espaços náuticos capazes de abrigar as embarcações de forma segura e estável para a transferência de cargas. O Setor B, denominado cais, usualmente, é projetado como uma estrutura de unificação entre as bacias de berço, estruturas civis para linha de defensas, amarrações e fundações para equipamentos de movimentação de carga. Ambos os setores se apresentam como os mais suscetíveis aos elevados investimentos adaptativos frente às mudanças operacionais para maiores navios. Já os setores C e D, pátio de estocagem de contêineres e conexão com modais externos, respectivamente, são locais menos afetados diretamente pelas grandes embarcações.

Figura 9 – Setorização em planta e elevação da operação de contêineres em cais tradicional (planta e corte típico)

Fonte: autor (2020)

A avaliação das características dimensionais das embarcações atuais e, sobretudo, tendências para o futuro, são relevantes para a construção conceitual do Porto do Futuro.

A competição no mercado logístico de transporte de contêineres pressiona a indústria naval a produzir navios com maiores capacidades pela economia de escala. A Figura 10 apresenta a evolução dos navios conteneiros desde a década de 1970 a 2020. Além do aumento importante na capacidade de carga das embarcações,

passando de 1.700 TEUs³ para 24.000 TEUs, destaca-se o crescimento relevante dos calados, de 9,00 m para 16,50 m. Para a infraestrutura portuária, objeto desta pesquisa, o crescimento relatado impacta diretamente na demanda por dragagens, reforços estruturais em píeres e cais, além de rebaixamentos de leitos para bacias de berços.

De acordo com Dohlie (2009) o crescimento acelerado no tamanho dos navios conteneiros ocorre, sobretudo, pela melhora no consumo de combustível por TEU carregado além do custo da embarcação. A depender dos custos de estaleiros, material e combustível, a economia de escala pode chegar a 20% no custo de construção do navio e 40% no consumo de energia, ao duplicar-se a capacidade em TEUs do navio. Além disso, essa importante publicação indica que a limitação de crescimento na boca ocorre pelas dificuldades em lanças de guindastes para movimentação de carga nos berços, além de melhora na aerodinâmica e eficiência no consumo de combustível.

O Quadro 5 relaciona os principais navios de contêineres em operação até 2020. Desta maneira, atualmente, os principais portos do mundo já se prepararam para os navios com capacidade acima de 18.000 TEUs, calados de 15,50 m e LOA (*length overall*) de 398,0 m. O Quadro 6 indica que os maiores navios de contêineres atualmente são os POSTIII Classe Algeciras (capacidade de 24.000TEUs) e projeta a nova geração POSTIII para 30.000 TEUs com calado 21,00 m e LOA de 460,0 m. Portanto, a adaptação dos portos e terminais para as próximas décadas ocorrerá às custas de muitos reforços e dragagens insustentáveis.

A categorização dimensional para os navios conteneiros ocorre em função da limitação do Canal do Panamá, ou seja, os navios *New Panamax*. As dimensões limite dos navios *Panamax* são 294,1 m x 32,31 m x 12,04 m; enquanto os *New Panamax* têm como dimensões limite 366,0 m x 49,00 m x 15,00 m. Já os navios conteneiros para o Estreito de Malacca (cota – 25,00 m CD) ainda estão distantes da viabilidade econômica.

³ TEU é a unidade de medida padrão para contêineres de 20 pés.

Figura 10 – Evolução da capacidade e calado dos navios de contêineres de 1970 a 2020

Fonte: adaptado de Vessel Tracking (2020)

Quadro 5-Maiores navios de contêineres em operação 2020

Nome	Ano	LOA (m)	Capacidade	Proprietário
HMM Algeciras	2020	399,9	23.964	HMM
HMM Copenhagen	2020	399,9	23.964	HMM
HMM Dublin	2020	399,9	23.964	HMM
HMM Gdansk	2020	399,9	23.964	HMM
HMM Hamburg	2020	399,9	23.964	HMM
HMM Helsinki	2020	399,9	23.964	HMM
HMM Le Havre	2020	399,9	23.964	HMM
HMM Oslo	2020	400,0	23.820	HMM
HMM Rotterdam	2020	400,0	23.820	HMM
HMM Southampton	2020	400,0	23.820	HMM
HMM Stockholm	2020	400,0	23.820	HMM
HMM St Petersburg	2020	400,0	23.820	HMM
MSC Gülsün	2019	399,9	23.756	MSC
MSC Samar	2019	399,9	23.756	MSC
MSC Leni	2019	399,9	23.756	MSC
MSC Mia	2019	399,9	23.756	MSC
MSC Febe	2019	399,9	23.756	MSC
MSC Ambra	2020	399,9	23.756	MSC
MSC Mina	2019	399,8	23.656	MSC
MSC Isabella	2019	399,8	23.656	MSC
MSC Arina	2019	399,8	23.656	MSC
MSC Nela	2019	399,8	23.656	MSC
MSC Sixin	2019	399,8	23.656	MSC
CMA CGM J. Saade	2020	399,9	23.112	CMA CGM

Nome	Ano	L _{OA} (m)	Capacidade	Proprietário
OOCL Hong Kong	2017	399,9	21.413	OOCL
OOCL Germany	2017	399,9	21.413	OOCL
OOCL Japan	2017	399,9	21.413	OOCL
OOCL U. Kingdom	2017	399,9	21.413	OOCL
OOCL Scandinavia	2017	399,9	21.413	OOCL
OOCL Indonesia	2018	399,9	21.413	OOCL
COSCO S. Universe	2018	399,9	21.237	COSCO
COSCO S. Nebula	2018	399,9	21.237	COSCO
COSCO S. Galaxy	2019	399,9	21.237	COSCO
COSCO S. Solar	2019	399,9	21.237	COSCO
COSCO S. Star	2019	399,9	21.237	COSCO
COSCO S. Planet	2019	399,9	21.237	COSCO
CMA CGM A. Exupery	2018	400,0	20.954	CMA CGM
CMA CGM J. Mermoz	2018	400,0	20.954	CMA CGM
CMA CGM L. Bleriot	2018	400,0	20.954	CMA CGM
Madrid Maersk	2017	399,0	20.568	Maersk Line
Munich Maersk	2017	399,0	20.568	Maersk Line
Moscow Maersk	2017	399,0	20.568	Maersk Line
Milan Maersk	2017	399,0	20.568	Maersk Line
Monaco Maersk	2017	399,0	20.568	Maersk Line
Marseille Maersk	2018	399,0	20.568	Maersk Line
Manchester Maersk	2018	399,0	20.568	Maersk Line
Murcia Maersk	2018	399,0	20.568	Maersk Line
Manila Maersk	2018	399,0	20.568	Maersk Line
Mumbai Maersk	2018	399,0	20.568	Maersk Line
Maastricht Maersk	2019	399,0	20.568	Maersk Line
Ever Golden	2018	400,0	20.160	Evergreen Marine
Ever Gentle	2019	400,0	20.160	Evergreen Marine
MOL Truth	2017	400,0	20.182	ONE
MOL Treasure	2018	400,0	20.182	ONE
MOL Triumph	2017	400,0	20.182	ONE
MOL Trust	2017	400,0	20.182	ONE
MOL Tribute	2017	400,0	20.182	ONE
MOL Tradition	2017	400,0	20.182	ONE
Ever Glory	2019	400,0	20.160	Evergreen Marine
Ever Govern	2019	400,0	20.160	Evergreen Marine
Ever Globe	2019	400,0	20.160	Evergreen Marine
Ever Greet	2019	400,0	20.160	Evergreen Marine
Ever Goods	2018	400,0	20.124	Evergreen Marine
Ever Genius	2018	400,0	20.124	Evergreen Marine
Ever Given	2018	400,0	20.124	Evergreen Marine
Ever Gifted	2018	400,0	20.124	Evergreen Marine
Ever Grade	2019	400,0	20.124	Evergreen Marine
COSCO S. Taurus	2018	399,8	19.273	COSCO

Nome	Ano	L _{OA} (m)	Capacidade	Proprietário
COSCO S. Gemini	2018	399,9	20.119	COSCO
COSCO S. Virgo	2018	399,9	20.119	COSCO
COSCO S. Libra	2018	399,9	20.119	COSCO
COSCO S. Sagittarius	2018	399,9	20.119	COSCO

Fonte: adaptado de Vessel Tracking (2020)

Quadro 6-Categorização de navios conteneiros para o Canal do Panamá

Categoria	Nome	TEUs	tpb	L _{OA} x Boca x Calado (m)
Panamax	CSAV Rio de Janeiro	5.300	67.000	295,0 x 32,20 x 13,50
Post I	HSD Rio Negro	5.900	74.000	286,0 x 40,00 x 13,50
Post II	Sovereign Maersk	8.000	105.000	347,0 x 42,80 x 14,50
Post III	<i>New Panamax</i>	13.200	145.000	366,0 x 49,00 x 15,20
Post III	<i>New Panamax Plus</i>	15.000	157.000	397,0 x 56,40 x 15,50
Post III	<i>Triple E</i>	18.000	165.000	400,0 x 59,00 x 15,50
Post III	Classe Algeciras	23,964	228,283	400,0 x 61,00 x 16.50
Post III	<i>Malacca-Max</i>	30.000	300.000	470,0 x 60,00 x 20,00

Fonte: adaptado de Ashar (2013)

Entende-se que a consideração de navios de projeto tipo *Triple E* (Capacidade 18.000TEUs) para os portos brasileiros atende às tendências das próximas décadas no mercado de contêineres.

2.3.2 Problemas da Engenharia Contemporânea: impactos das adaptações em estruturas existentes pelo aumento das dimensões dos navios

As alterações nas características dimensionais da frota de navios conteneiros, discutidas no item 2.3.1, implicam em adaptações nas estruturas portuárias existentes e novos critérios de dimensionamentos das estruturas novas. Os portos estuarinos, naturalmente abrigados e localizados em espaços restritos, como o Porto de Santos, objeto desta pesquisa, apresentam maiores susceptibilidade aos impactos das grandes embarcações, sobretudo para operação de contêineres por instalações obsoletas e superadas há muitas décadas. Portanto, este item aborda elementos de Engenharia contemporânea relacionados às perdas financeiras que têm ocorrido durante a última década e, certamente, serão mais frequentes a partir da década de 2020.

Figura 11 – Operação de contêineres no Porto de Rotterdam, Terminal APM, Países Baixos, durante pôr do sol no Mar do Norte

Fonte: (PORT OF ROTTERDAM AUTHORITY, 2021)

2.3.2.1 Porto de Santos: reforço de cais para os antigos Terminais T33 e T35

O Porto de Santos, em sua margem direita (Município de Santos), mantinha até 2019 operação de contêineres nos denominados Terminal 33 (T33) e Terminal 35 (T35)⁴, conforme identificados na Figura 12. Em 2016, realizou-se o estudo de viabilidade técnico-econômica em que o terminal passaria de uma área de 139.949 m² para 202.344 m² e aumento de capacidade de contêineres estocados de 13.636 TEUs para 18.054 TEUs. Para tanto, foram previstos reforços estruturais dos 1.020m de cais existentes, sendo 310m do T33 e 710m do T35 (Figura 13).

⁴ O T33 e T35 eram operados por Concessão pela Libra SA até meados de 2019. Entretanto, no segundo semestre de 2019, a área foi leiloadada pela União para operação de celulose. Os vencedores foram Bracell e Eldorado e os terminais passaram a ser denominados ST14 e ST14A, respectivamente.

Figura 12 – Porto de Santos e antigos Terminal 33 e Terminal 35 de contêineres

Fonte: adaptado de Google Maps (2020)

Os reforços tinham como objetivo três situações: (i) aprofundamento dos berços para atracação de navios do tipo *New Panamax* (ver Quadro 6); (ii) adaptação das estruturas para novas cargas horizontais a partir do novo sistema de defensas para os maiores navios de projeto e (iii) adaptações para novos equipamentos de movimentação de carga e de cais (STS- *Ship to Shore Cranes*) que atendam aos novos navios de projeto (maiores bocas e maior eficiência). Portanto, foram descritas as soluções e estimativas de custos de Engenharia para cada intervenção, importantes para as discussões sobre a cadeia de intervenções que pode ocorrer no Porto de Santos de acordo com a tendência de crescimento dos navios.

Figura 13 – Identificação do comprimento do cais do Terminal 33 e do Terminal 35 para o Porto de Santos

Fonte: autor (2020)

A Figura 14 mostra imagens do local, nas quais se nota a pavimentação obsoleta e linha de defensas para navios de açúcar (porte bruto até 40.000 tpb) e calados inferiores a 10,50m.

Figura 14 – Imagens do Cais do Terminal 33. Pavimentação em paralelepípedo e trilhos existentes (à esquerda) e linha de cais com defensas obsoletas para operação de navios de contêineres de grande porte (à direita)

Fonte: autor (2018)

- i. Rebaixamento de cota do leito do berço do Terminal 33 e Terminal 35 para cota - 16,00 m (CHM-DHN-Marinha) para receberem navios *New Panamax*

Atualmente, o cais do Terminal 33 apresenta berço com cota de fundo - 11,0 m (CHM-DHN-Marinha), conforme mostrado na Figura 15. Adicionalmente, nota-se que a estrutura de contenção foi concebida com cortina de estacas prancha metálicas, responsável pela contenção do aterro abaixo do cais. Ademais, identifica-se a estrutura do tabuleiro do cais apoiada em estacas inclinadas com aproximadamente 25,50 m. De forma a permitir o rebaixamento do leito para a cota - 16,00 m (CHM-DHN-Marinha) propôs-se adaptar a condição do cais existente, acrescido de reforço com perfil metálico e estaca prancha (parede combinada HZM), com ficha na cota - 31,72 m (CHM-DHN-Marinha) e, dragagem na cota - 16,00 m (CHM-DHN-Marinha), conforme mostrado na Figura 15.

Figura 15 – Proposição de reforço do cais do Terminal 33 para rebaixamento de leito do berço de atracação para cota - 16,00 m (CHM-DHN-Marinha)

Fonte: autor (2020)

A Tabela 1 apresenta os custos de obras civis para reforço de cais do Terminal 33 com referência aos custos de 2020. Portanto, extraiu-se o indicador financeiro de R\$ 77.685,32 para cada metro de cais reforçado com o objetivo exclusivo de rebaixamento de leito.

Tabela 1 – Estimativa de custos⁵ para reforços de cais para rebaixamento de leito para Terminal 33-Base de custos 2020

Item	Descrição	Custo Total (R\$)
		24.082.449,66
1	Serviços Preliminares	6.327.043,58
1.1	Instalação de canteiro de obras e mobilização	600.823,79
1.2	Manutenção de canteiro de obras	3.789.340,64
1.3	Desmobilização	56.449,80
1.4	Provas de carga estática	39.886,06
1.5	Provas de dinâmica	3.700,68
1.6	Ensaio geotécnicos	214.761,43
1.7	Projetos e consultorias	365.732,00
1.8	Gerenciamento, Suprimentos e administração contratual	731.464,01
1.9	Apoio Náutico	524.885,17
2	Demolições	30.460,70
2.1	Pavimentos existentes	3.656,08
2.2	Trilhos e interferências do antigo cais	26.804,62
3	Canaletas e redes de drenagem	1.262.198,95
3.1	Canaletas moldada in loco	1.101.392,13
3.2	Caixas de passagem	160.806,82
4	Reforço estrutural do Cais	16.462.746,43
4.1	Remoção de interferências	33.927,03
4.2	Estacas Prancha para rebaixamento de leito dos berços	15.320.517,78
4.3	Instrumentação e acompanhamento tecnológico	306.970,99
4.4	Proteção contra erosão do leito marinho com gabião	801.330,63

Fonte: autor (2020)

O cais do Terminal 35 apresenta berço com cota - 13,50 m (CHM-DHN-Marinha), conforme mostrado na Figura 15. A extensão do cais do T-35 (710 m) e lâmina de água mínima de 13,50 m (Figura 16) permite a recepção de navios contêineres *Panamax*-aliviado. O projeto de rebaixamento, assim como no Terminal 33, visou a recepção de navios *New Panamax* plenamente carregados.

⁵ A composição de preços apresentada considera os custos diretos, indiretos e margens de empreiteiros. Não considera os preços de dragagem.

Figura 16 – Atual cais do Terminal 35 com cota -13,50 m e estimativa de rebaixamento de leito no berço de atracação para cota - 16,00 m (CHM-DHN-Marinha)

Fonte: autor (2020)

Para o reforço do cais do Terminal 35 foi proposta solução similar ao Terminal 33, conforme mostrado na Figura 17. Nota-se a cravação de perfis metálicos HZM 880MA e estacas-prancha do tipo AZ18-700 até cota - 34,00 m (CHM-DHN-Marinha).

Tabela 2 – Estimativa de custos⁶ para reforços de cais para rebaixamento de leito para Terminal 35-Base de custos 2020

Item	Descrição	Custo Total (R\$)
		54.788.240,06
1	Serviços Preliminares	15.876.295,15
1.1	Instalação de canteiro de obras e mobilização	1.430.225,11
1.2	Manutenção de canteiro de obras	9.020.298,79
1.3	Desmobilização	134.375,38
1.4	Provas de carga estática	118.682,97
1.5	Provas de dinâmica	11.011,55
1.6	Ensaio geotécnicos	639.033,42
1.7	Projetos e consultorias	986.948,58
1.8	Gerenciamento, Suprimentos e administração contratual	1.973.897,16
1.9	Apoio Náutico	1.561.822,19
2	Demolições	60.921,41
2.1	Pavimentos existentes	7.312,16
2.2	Trilhos e interferências do antigo cais	53.609,25
3	Canaletas e redes de drenagem	2.524.397,90
3.1	Canaletas moldada in loco	2.202.784,26
3.2	Caixas de passagem	321.613,64
4	Reforço estrutural do Cais	36.326.625,60
4.1	Remoção de interferências	3.206,25
4.2	Estacas Prancha para rebaixamento de leito dos berços	33.972.894,49
4.3	Instrumentação e acompanhamento tecnológico	747.863,61
4.4	Proteção contra erosão do leito marinho com gabião	1.602.661,25

Fonte: autor (2020)

ii. Reforço do cais do Terminal 33 e Terminal 35 para atracação de navios *New Panamax*

A tendência global de aumento das dimensões dos navios contêineres apresentada no Quadro 6 gerará impactos em obras civis para rebaixamento de leito dos cais, conforme exemplos da Tabela 1 e Tabela 2. Adicionalmente, identificam-se necessidades para reforços estruturais. para novas defensas, maiores esforços horizontais pelo aumento dos deslocamentos totais dos navios, maiores esforços de

⁶ A composição de custos apresentada considera os custos diretos, indiretos e margens de empreiteiros. Não considera os custos de dragagem.

amarração, reforços em fundações para equipamentos com maior alcance de lanças e troca de cabeços. Portanto, este item exemplifica quantitativamente do que se está falando em termos de intervenções estruturais para alteração do cais do Terminal 33 do Porto de Santos (Tabela 3), assim como estimava de custos com base em valores de 2020.

Figura 18 – Planta típica de reforços estruturais para atracação de novos navios

Fonte: autor (2020)

Os reforços estruturais de cais para atracação de navios com maiores deslocamentos ocorrem com a substituição de antigas defensas por acessórios mais modernos e capazes de absorver maiores energias. As novas reações horizontais são transferidas para novos blocos com estacas inclinadas (Figura 19).

Figura 19 – Corte típico de reforços estruturais para atracação de novos navios

Fonte: autor (2020)

A partir da concepção do reforço estrutural necessário para navios *New Panamax*, obteve-se a Tabela 3 na qual estão indicados custos de referência para o tipo de intervenção descrita. Portanto, extraiu-se o indicador financeiro de R\$ 141.149,17 para cada metro de cais reforçado com o objetivo exclusivo de adaptação aos novos esforços horizontais de navios e novos guindastes.

Tabela 3 – Estimativa de custos⁷ para reforços de cais para atracação de maiores navios para Terminal 33-Base de custo 2020

Item	Descrição	Custo Total (R\$)
		43.756.244,08
1	Serviços Preliminares	10.971.567,32
1.1	Instalação de canteiro de obras e mobilização	1.048.955,88
1.2	Manutenção de canteiro de obras	6.615.668,64
1.3	Desmobilização	98.553,61
1.4	Provas de carga estática	87.044,48
1.5	Provas de dinâmica	8.076,10
1.6	Ensaio geotécnicos	468.679,97
1.7	Projetos e consultorias	822.233,11
1.8	Gerenciamento, Suprimentos e administração contratual	1.677.355,54
1.9	Apoio Náutico	145.000,00
2	Pavimentação	1.082.454,63
2.1	Recuperação de Pavimento	374.312,75
2.2	Novos pavimentos	708.141,88
3	Reforço estrutural do Cais	31.702.222,13
3.1	Remoção de Interferências	42.408,79
3.2	Estacas para reforço de Trilhos	11.397.972,07
3.3	Estacas para reforço nos cavaletes de atracação	2.008.893,25
3.4	Estacas para Bases de novas Defensas	172.598,12
3.5	Blocos de Coroamento	276.766,93
3.6	Vigas Tirantes	311.869,37
3.7	Vigas de Apoio dos Trilhos	5.745.153,43
3.8	Paramento das Defensas	560.825,11
3.9	Novas Defensas	6.323.635,45
3.10	Novas cabeços	982.955,45
3.11	Novos trilhos para guindastes	3.879.144,15

Fonte: autor (2020)

2.3.2.2 Porto de Suape: adaptação estrutural em antigo cais de estaleiro para cais de contêineres para navios *New Panamax*

O Porto de Suape (Figura 20), localizado no Estado de Pernambuco, é referência em movimentação de carga no Nordeste brasileiro, sobretudo pelo seu potencial de Porto Concentrador (*hub*) em graneis e contêineres. Como previsto, as demandas para adaptações de estruturas existentes e adequá-las às movimentações de contêineres, tendem a aumentar nos portos em operação. Para o Porto de Suape efetuou-se avaliação de reforço estrutural do Cais Sul, atualmente operado para manutenção de navios (estaleiro), visando uma futura operação de navios de contêineres de grande porte, tipo *New Panamax* e movimentação de 500.000 TEUs por ano.

⁷ A composição de custos apresentada considera os custos diretos, indiretos e margens de empreiteiros. Não considera os custos de dragagem.

Figura 20 – Porto de Suape e identificação de cotas e Cais Sul

Fonte: autor (2020)

Atualmente, o Cais Sul opera com cota - 8,00 m (CHM-DHN-Marinha) ao longo de 730,0 m de estrutura acostável, defensas simples pneumáticas e cabeços de amarração de 150,00 tf a cada 25,00 m, conforme Figura 21. Para a adaptação à futura operação de contêineres, previu-se uma parede metálica que deverá ser construída a frente da cortina de estaca diafragmas existentes de forma a possibilitar a dragagem até cota - 16,00 m (CHM-DHN-Marinha). Além dessa parede, foram previstas obras de reforço estrutural e linha de Guindaste para operação de guindastes (STS).

Figura 21 – Corte típico do Cais Sul do estaleiro do Porto de Suape/Pernambuco

Fonte: autor (2020)

A Tabela 4 apresenta a estimativa de investimento financeiro para adaptação da estrutura existente às novas demandas de navios conteneiros no que tange aos esforços horizontais, novas defensas e reforço de fundações para novos guindastes. Nota-se que o indicador financeiro é R\$ 134.638,10 por metro de cais reforçado.

Na Tabela 5 está indicada a estimativa de investimento para reforços estruturais para aprofundamento da cota - 8,00 m para - 16,00 m (CHM-DHN-Marinha). Portanto, obteve-se o indicador de R\$ 122.562,56 por metro de cais a ser reforçado.

Tabela 4 – Estimativa de custos para reforços de cais para atracação de maiores navios para Porto de Suape-Base de custos 2020

Item	Descrição	Custo Total (R\$)
		98.285.814,90
1	Serviços Preliminares	24.283.292,65
1.1	Instalação de canteiro de obras e mobilização e manutenção	16.637.064,71
1.2	Provas de carga estática, Provas de dinâmica, Ensaio geotécnicos	1.137.989,68
1.3	Projetos e consultorias	1.857.959,86
1.4	Gerenciamento, Suprimentos e administração contratual	4.650.278,40
2	Pavimentação	4.977.275,74
2.1	Novos pavimentos	4.977.275,74
3	Reforço estrutural do Cais	69.025.246,51
3.1	Remoção de Interferências	345.467,40
3.2	Estaqueamento e fundações	43.475.257,26
3.5	Defensas	13.041.678,00
3.6	Trilhos - A 100	12.162.843,85

Fonte: autor (2020)

Tabela 5 – Estimativa de custos para reforços de cais para aprofundamento de berço para Porto de Suape-Base de custos 2020

Item	Descrição	custo Total (R\$)
		125.916.114,56
1	Serviços Preliminares	36.171.457,64
1.1	Instalação de canteiro de obras e mobilização e manutenção	26.341.375,47
1.2	Provas de carga estática, Provas de dinâmica, Ensaio geotécnicos	1.137.989,68
1.3	Projetos e consultorias	2.474.645,21
1.4	Gerenciamento, Suprimentos e administração contratual	6.217.447,28
2	Pavimentação	-
2.1	Novos pavimentos	0,00
3	Reforço estrutural do Cais	89.744.656,92
3.1	Parede metálica e reforços para aprofundamento	86.421.930,56
3.2	Proteção contra erosão fundo do leito	3.322.726,36

Fonte: autor (2020)

2.3.2.3 O impacto dos grandes navios nas dragagens

O grande desafio das próximas décadas na Engenharia Portuária é o conflito de interesses com a indústria naval e logística. O incremento das dimensões dos navios (comprimento, boca, calado e deslocamentos totais), causados pela pressão econômica, tem impacto direto na infraestrutura portuária e na grande dificuldade dos portos estuarinos em atendê-los. O principal fator de conflito é a dragagem. De um lado estão os armadores, operadores logísticos, terminais e *traders* que buscam incessantemente o ganho de escala no transporte de cargas, sobretudo em contêineres e graneis, o que explica a tendência de aumento das embarcações. Do outro lado, encontram-se a Sociedade Civil, Ambientalistas e defensores da Engenharia Costeira que assistem processos de dragagem onerosos, desregulados e infinitos para incrementos de centímetros nos aprofundamentos de espaços náuticos. No âmbito deste confronto de forças, onde quase sempre o poder econômico se sobressai, as autoridades portuárias têm papel fundamental no estabelecimento das diretrizes de desenvolvimento a longo-prazo do porto.

Este item apresenta estudos de cenários para avaliações volumétricas e financeiras de dragagem em função do aumento das embarcações. Evidentemente, os estudos apresentados estão contextualizados e podem variar significativamente em outras regiões, com a disponibilidade de dragas, com a qualidade do solo a ser removido, entre outros fatores.

O Porto de Suape (Figura 20) apresenta características náuticas de porto exterior na região entre a linha de costa e o molhe de abrigo, bem como peculiaridades de porto estuarino na confluência fluvial com o porto externo. Nota-se que os canais de acesso no interior do estuário apresentam cota de fundo - 10,50 m (CHM-DHN-Marinha), que seriam insuficientes para navios contêineres tipo *New Panamax*. Logo, efetuaram-se estudos para avaliação de dragagem. A partir deste estudo obtiveram-se indicadores da influência do aumento das dimensões das embarcações no processo de dragagem.

Os espaços náuticos dentro do estuário foram divididos em trechos, conforme Figura 22 onde se encontram o canal de acesso principal, bacia de evolução, canais de acessos secundários e berços. De forma a possibilitar a comparação foram criados 2 cenários de navios: 1) navio *New Panamax* com $LOA = 366,0$ m e calado máximo operacional (aliviado) 13,50 m e 2) navio *New Panamax* com $LOA = 366,0$ m e calado

máximo operacional 14,50 m. A comparação destes dois cenários é fundamental para avaliação de impacto na dragagem em decorrência de aumento de 1,00 m no calado no navio de projeto.

Figura 22 – Identificação dos trechos para o estudo de dragagem no Porto de Suape/Pernambuco

Fonte: autor (2020)

Os dimensionamentos dos espaços náuticos foram embasados nas recomendações de Alfredini e Arasaki (2018), que são fundamentadas nas recomendações da PIANC. A Tabela 6 a Tabela 7 apresentam os dimensionamentos do canal de acesso ao Cais Sul (Trecho A e C), bacia de evolução (Trecho B) e bacias de berço do Cais Sul (Trecho E) para calado máximo 13,50 m.

Tabela 6 – Cálculo da profundidade mínima necessária do canal de acesso e bacia de evolução para navio *New Panamax* (calado máximo operacional 13,50 m) no Porto de Suape/Pernambuco

Fatores	Valores (m)
Calado estático	13,50
Folga sob a quilha ⁸	1,30
Incertezas do leito	0,10
Incertezas da dragagem	0,10
Profundidade mínima necessária do canal	15,00

Fonte: autor (2020)

Tabela 7 – Cálculo da profundidade mínima necessária das bacias de berço para navio *New Panamax* (calado máximo operacional 13,50 m) no Porto de Suape/Pernambuco

Fatores	Valores (m)
Calado estático	13,50
Folga sob a quilha ⁹	1,10
Incertezas do leito	0,10
Incertezas da dragagem	0,10
Profundidade mínima necessária do berço	14,80

Fonte: autor (2020)

Alternativamente, a Tabela 8 a Tabela 9 apresentam os dimensionamentos do canal de acesso do Cais Sul (Trecho A e C), bacia de evolução (Trecho B) e bacias de berço do Cais Sul (Trecho E) para calado máximo 14,50 m. A Tabela 10 apresenta as estimativas e premissas para a largura do canal de acesso interno em função de

⁸ Folga Líquida sob a quilha é a somatória de fatores associados a densidade da água (0,19m), squat (0,41m), fatores de onda (0,10m) e folga adicional (0,60m).

⁹ Folga Líquida sob a quilha é a somatória de fatores associados a densidade da água (0,19m), fatores de onda (0,10m) e folga adicional (0,60m).

diversos fatores. Obteve-se que a largura do canal é $3,8 \cdot B$, sendo B a boca do navio de projeto.

Tabela 8 – Cálculo da profundidade mínima necessária do canal de acesso e bacia de evolução para navio *New Panamax* (calado máximo operacional 14,50 m) no Porto de Suape/Pernambuco

Fatores	Valores (m)
Calado estático	14,50
Folga sob quilha ¹⁰	1,30
Incertezas do leito	0,10
Incertezas da dragagem	0,10
Profundidade mínima necessária no canal	16,00

Fonte: autor (2020)

Tabela 9 – Cálculo da profundidade mínima necessária das bacias de berço para navio *New Panamax* (calado máximo operacional 14,50m) no Porto de Suape/Pernambuco

Fatores	Valores (m)
Calado estático	14,50
Folga sob quilha ¹¹	1,10
Incertezas do leito	0,10
Incertezas da dragagem	0,10
Profundidade mínima necessária do berço	15,80

Fonte: autor (2020)

¹⁰ Folga Líquida sob a quilha é a somatória de fatores associados a densidade da água (0,19m), Squat (0,41m), fatores de onda (0,10m) e folga adicional (0,60m).

¹¹ Folga Líquida sob a quilha é a somatória de fatores associados a densidade da água (0,19m), fatores de onda (0,10m) e folga adicional (0,60m).

Tabela 10 – Cálculo da largura do canal de acesso interno em função da boca do navio de projeto no Porto de Suape/Pernambuco

Fatores	Classificação	Largura (B)
Manobrabilidade	Moderada	1,50
Velocidade	Lenta	0,00
Ventos transversais	Fraco	0,30
Correntes transversais	Fraca	0,30
Correntes longitudinais	Fraca	0,00
Altura significativa	---	0,00
Auxílios à navegação	Boa	0,20
Superfície do fundo do canal	Lisa e Macia	0,10
Profundidade do canal	---	0,40
Periculosidade da carga	Baixa	0,00
Folga com as margens	Laterais taludadas	1,00

Fonte: autor (2020)

A partir das dimensões náuticas, foram elaborados modelos matemáticos no software Civil 3D, nos quais a batimetria atual foi comparada com as profundidades e larguras necessárias.

Figura 23 – Modelo 3D com canal dragado para navios de calado 14,50 m

Fonte: autor (2020)

A partir da modelagem matemática obtiveram-se as estimativas de volumes para cada trecho e cada cenário, assim como previsão de custos financeiros, conforme apresentados na Tabela 11. Para o canal de acesso (trecho A), em sua extensão de aproximadamente 1.645 m, o incremento de 1,00 m no calado da embarcação (Cenário 1 para o Cenário 2) resulta no acréscimo de aproximadamente 132.967 m³ de material dragado. Ou seja, estima-se um custo de R\$ 11.302.195,00 ao longo do trecho de 1,64 km. Isto representa uma taxa aproximada de R\$ 6.870,64 para cada metro linear de canal de acesso para cada metro de calado aumentado. Este resultado é coerente com a mesma análise do canal de acesso secundário (Trecho C), para o qual obteve-se o indicador de R\$ 10.230.005,00 para cada metro linear de canal.

A bacia de evolução (Trecho B) apresenta uma variação ainda maior do que o canal de acesso principal (Trecho A). O aumento de 1,00 m no calado da embarcação (Cenário 1 para o Cenário 2) implica no acréscimo de 299.433 m³ de material dragado, representando uma estimativa de custo de R\$ 25.451.805,00 para cada metro de incremento no calado.

Tabela 11 – Estimativa de volume de dragagem para cada trecho e cada cenário no Porto de Suape/Pernambuco

Cenário	Trecho	Característica do trecho	Volume de dragagem (m³)	Custo (R\$) ¹²
1. Calado 13,50m	A	Comprimento aproximado 1.645 m e cota de - 15,00 m	5.506	468.010,00
	B	Diâmetro da bacia de 646 m e cota - 15,00 m	930.026	79.052.210,00
	C	Comprimento aproximado 562 m e cota de - 15,00 m	520.097	44.208.245,00
	D	Comprimento aproximado 638 m e cota - 15,00 m	1.151.636	97.889.060,00
2. Calado 14,50m	A	Comprimento aproximado 1645 m e cota de - 16,00 m	138.473	11.770.205,00
	B	Diâmetro da bacia de 646 m e cota - 16,00 m	1.229.459	104.504.015,00
	C	Comprimento aproximado 562 m e cota - 16,00 m	640.450	54.438.250,00
	D	Comprimento aproximado 638 m e cota - 16,00 m	1.314.661	111.746.185,00

Fonte: autor (2020)

Os portos estuarinos, como o Porto de Santos, apresentam canais de acesso longos e confinados. Portanto, em um trecho de 10 km, o aumento das dimensões das embarcações (item 2.3.1), sobretudo em seus calados e bocas, devem representar da ordem de R\$ 110,00 milhões para cada metro de aprofundamento na implantação ou manutenção, além impactos ambientais nas zonas de manguezais.

2.4 OBRAS DE ABRIGO DE QUEBRA-MAR DE TALUDE X DE PAREDE VERTICAL

2.4.1 Quebra-mar de talude em enrocamento

As obras de abrigo nos projetos portuários representam investimentos relevantes e, muitas vezes, são fatores decisivos nas análises de viabilidade de portos, sobretudo as instalações ao largo (*offshore*). Assim, efetuou-se um estudo de maciço de talude

¹² Estimativa financeira baseada no indicador de R\$ 85,00 por m³ de material dragado. Esse valor é referência praticada no Porto de Suape. Para estimativas mais precisas devem ser feitas cotações com projetos detalhados junto a empresas especializadas em dragagens.

em enrocamento e blocos de concreto, tendo-se empregado estimativas de quantidades e custos de mercado.

Não foram incluídas considerações geotécnicas.

A largura de coroamento foi adotada em 54,20 m, na área de carregamento e descarregamento de contêineres para navios e chatas, e 45,10 m na área destinada a estruturas de apoio, transporte, ou simplesmente proteção contra ondas e correntes.

Considerou-se a profundidade necessária para comportar navios tipo *Triple E* ou superiores, resultando em lâminas de água entre 17,00 m e 21,00 m.

Partiu da geometria da estrutura de quebra-mar de talude em enrocamento, com declividade de 4(H): 3(V), larguras de crista variando entre 45,10 m e 54,20 m e largura de base entre 115,77 m e 135,53 m. A Figura 24 apresenta as seções do quebra-mar de talude considerado.

As seções transversais 1 e 4 referem-se às regiões de carregamento e descarregamento de navios, com profundidade mínima de 21,00 m. A Seção 2 refere-se às regiões de carregamento e descarregamento que demandem profundidades de 17,00 m e a seção 3 corresponde à área de edificações de apoio e transporte dos contêineres, próximo ao canal e, portanto, com profundidade mínima de 21,00m. Estas seções possuem comprimentos, respectivamente, iguais a 950,00 m; 680,00 m; 414,20 m e 685,80 m.

Quanto aos materiais, para a armadura consideraram-se blocos de concreto ACCROPODE II de 21,60 tf. Para a subcapa considerou-se um enrocamento de transição com diâmetros entre 0,50 m e 1,00 m. Já, para o núcleo, considerou-se o emprego de tout-venant da pedra. Os volumes e custo para cada uma das seções estão apresentados na Tabela 12. Estimou-se que os 2.730 m de quebra-mar deste estudo comparativo custariam R\$ 975.938.082,36; ou seja, R\$ 357.486,48 por metro de maciço.

Tabela 12 – Estimativa de custos (R\$) para os respectivos volumes (m³) de quebra-mar de talude em enrocamento

Trecho	Armadura	Subcapa	Núcleo	Volume Total	Custo ¹³
Seção 1	95.593,75	401.470,00	1.471.265,00	1.968.328,75	423.344.842,50
Seção 2	58.905,00	232.383,20	742.947,60	1.034.235,80	205.204.905,60
Seção 3	41.678,88	167.505,79	562.322,06	771.506,73	149.965.497,21
Seção 4	59.407,43	222.020,89	691.197,25	972.625,56	197.422.837,06
					975.938.082,36

Fonte: autor (2020)

¹³ Custos estimados em função da experiência do autor com cotações de obras recentes desta natureza.

Figura 24 – Seções transversais do quebra-mar de talude para referência no estudo comparativo com quebra-mar de parede vertical de caixão em concreto armado (dimensões em metros)

Fonte: autor (2020)

2.4.2 Quebra-mar de parede vertical em concreto armado pré-moldado

Para comparação com o quebra-mar de talude em enrocamento, o quebra-mar de parede vertical de caixão em concreto armado possui características similares em termos de profundidade e comprimento para cada uma das seções descritas em 2.4.1.

Os caixões são estruturas em concreto armado com células retangulares (Figura 25). Na Tabela 13 estão resumidas as características geométricas empregadas para as quantidades e estimativas de custo.

Tabela 13 – Características geométricas do caixão na seção transversal

	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
Células em largura	12	13	10	11
Células em altura	5	4	5	4
Largura da estrutura (m)	54,20	54,20	45,10	45,10
Comprimento da seção (m)	950,00	680,00	414,20	685,80
Espessura da parede interna (cm)	0,25	0,25	0,25	0,25
Espessura da parede externa (m)	0,50	0,50	0,50	0,50
Largura da crista do talude para reforço da fundação (m)	58,20	58,20	49,10	49,10
Largura da base do talude para reforço da fundação (m)	62,20	62,20	53,10	53,10

Fonte: autor (2020)

A Seção 1 consiste em 50 células quadradas de 4,30 m x 4,30 m e 10 retangulares de 3,45 m x 4,30 m. A Seção 2 consiste em 44 células quadradas de 4,00 m x 4,10 m e 8 retangulares de 2,55 m x 4,10 m. A Seção 3 é composta por 40 células quadradas de 4,30 m x 4,30 m e 10 retangulares de 3,27 m x 4,30 m. A Seção 4 é composta por 36 células quadradas de 4,00 m x 4,10 m e 8 retangulares de 2,25 m x 4,10 m.

Figura 25 – Seções transversais do quebra-mar de parede vertical de caixão em concreto armado para estudo comparativo com quebra-mar de talude (dimensões em metros)

Fonte: autor (2020)

Os volumes e custos total para cada uma das seções estão apresentados na Tabela 14. Estimou-se que os 2.730 m de quebra-mar de caixões em concreto armado custariam R\$ 1.497.182.975,81, ou seja, R\$ 548.418,67 por metro de estrutura.

Apesar do custo mais elevado com relação ao quebra-mar de talude, a opção de quebra-mar de parede vertical de caixão em concreto armado pode agregar a função de cais, sem a necessidade de construir um cais estaqueado, pois a própria parede da estrutura serve como estrutura de acostagem.

Tabela 14 – Estimativa de custos para quebra-mar de parede vertical de caixão em concreto armado

Trecho	Volume de concreto (m ³)	Peso de aço (t)	Enrocamento na base (m ³)	Custo da Seção (R\$)
Seção 1	187.316,25	20.604,79	115.425,00	605.907.720,00
Seção 2	109.976,40	12.097,40	82.620,00	359.659.180,80
Seção 3	68.798,62	7.567,85	42.331,24	222.524.808,00
Seção 4	94.592,39	10.405,16	70.088,76	309.091.267,01
				1.497.182.975,81

Fonte: autor (2020)

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE PORTOS SUSTENTÁVEIS

A base científica da proposta de desenvolvimento para o Porto de Santos foi a linha de Portos Sustentáveis. As clássicas definições de literaturas europeias, sobretudo holandesas e belgas, mostram o arcabouço teórico dos Portos Flexíveis, Porto do Futuro.

Foram identificados que possíveis impactos do desenvolvimento portuário no ecossistema costeiro são específicos de cada caso, dependendo da vulnerabilidade do sistema aos diferentes impactos e medidas mitigadoras. Os maiores riscos e oportunidades para o desenvolvimento portuário sustentável reside na morfologia do sistema. O distúrbio de habitats inteiros com funções importantes prejudicará o funcionamento do ecossistema e o degradará. No porto sustentável este distúrbio deve ser evitado e seu potencial impacto deve ser avaliado com base em indicadores. Os indicadores ambientais fornecem informação a respeito da condição atual do meio ambiente. Esta informação pode auxiliar os gestores ambientais portuários a reconhecer os potenciais impactos das atividades portuárias, produtos e serviços que podem interagir com o ambiente, e consequentemente, auxiliar no planejamento e implementação da avaliação do desempenho ambiental. É necessário monitorar esses indicadores para a avaliação do funcionamento do ecossistema, tal como a abundância das espécies fundamentais ao ecossistema e os níveis de nutrientes. Informações a respeito da biodiversidade atual, hidrodinâmica, espécies fundamentais e seus requisitos são, por exemplo, necessários para ganhar maior conhecimento a respeito do funcionamento do ecossistema costeiro. Para evitar a perda de habitat, erosão e sedimentação da área portuária, os aspectos ambientais e bióticos do funcionamento do ecossistema para uma localização e projeto alternativo devem ser analisados. Para reduzir impactos no ambiente, o desenvolvimento portuário deve ser desenvolvido com a integração dos diferentes *agentes* envolvidos e reguladores. A gestão ecossistêmica é a abordagem gerencial desejada para o desenvolvimento portuário sustentável.

Em relação às operações portuárias sustentáveis, projeto e localização estão interligados e devem ser pensados em conjunto para o desenvolvimento ótimo de um porto ou expansão portuária. Os fatores dominantes no desenvolvimento do porto sustentável são as características locais específicas que devem ser consideradas no

projeto e planos operacionais. Os processos de sedimentação e erosão nos canais de acesso e bacias portuárias influenciam na eficiência do porto, e fornecem incentivos econômicos para projetos alternativos e outras medidas mitigadoras para reduzir o impacto na linha costeira e meio ambiente. Construções portuárias em locais de grande profundidade (portos *offshore*) em combinação com técnicas inovadoras de amarração e abrigo, podem reduzir os impactos causados pela exposição contra ondas. A partir de uma abordagem sustentável, seria desejável que a escolha da localização fosse parte do processo de projeto, visto que a escolha da localização e o projeto estão intimamente relacionados e possuem consequências no gerenciamento operacional portuário.

Após entendimento dos modelos de administração portuária, identificou-se que para o maior envolvimento do setor público, como o *landlord port*, a implementação de padrões de sustentabilidade é facilitada, desde que os fundos (subsídios) estejam disponíveis. Contudo, o setor público tem de lidar com a imposição de um gerenciamento portuário, formulações políticas e governança de uma maneira sustentável. Ao desenvolver um porto sustentável, os diferentes agentes precisam estar envolvidos e os desenvolvimentos privados devem ser conduzidos por leis e regulações transparentes no sentido ganha-ganha. Em geral, o desenvolvimento portuário pode ocorrer a partir da cooperação entre governos e agentes para gerar um projeto financeiramente viável com um caso de negócio favorável. O resultado do processo de discussão dos agentes e a seleção dos indicadores resulta na integração de indicadores de sustentabilidade para as pessoas, planeta e lucro. A governança como tal não impede o desenvolvimento de portos sustentáveis. Entretanto, precisa-se considerar a geração dos benefícios sustentáveis gerados pelos portos à sociedade e que não beneficiam diretamente o porto. O benefício ao porto ocorre a partir da melhor imagem junto à sociedade. Contratos de parcerias público-privadas (PPPs) podem ser utilizadas para direcionar os riscos do desenvolvimento portuário para o setor público. Portos privados oferecem oportunidades para o desenvolvimento portuário sustentável sem gastos públicos adicionais. Entretanto, é necessário a regulação governamental para promover uma abordagem de gestão ecossistêmica e promover limites dentro dos quais os projetos ocorrerão.

Já o conceito do Porto do Futuro é o de alcançar um desenvolvimento portuário sustentável de longo-prazo, ou ainda, estabelecer o programa de desenvolvimento

portuário sustentável como uma iniciativa integral e interativa. Conhecimento deve ser desenvolvimento para equilibrar o crescimento econômico e social em conjunto com a saúde dos ecossistemas. Necessita-se de soluções inovadoras para o desenvolvimento sustentável portuário sustentável que estejam em harmonia com o ecossistema e sejam robustas ou adaptáveis a mudanças.

É necessário avaliar o estado atual do ecossistema costeiro, retorno ecológico e os requisitos ambientais dos aspectos físicos, químicos e bióticos para o funcionamento do ecossistema, utilizando-se indicadores econômicos, sociais e ambientais para determinar se o desenvolvimento portuário poderia ocasionar impactos no ecossistema costeiro. Serviços ecossistêmicos podem ser utilizados para avaliar os impactos dos efeitos socioeconômicos sobre o ecossistema costeiro.

3.1 DEFINIÇÃO DE PORTOS SUSTENTÁVEIS

A infraestrutura portuária nos países em desenvolvimento representa uma maneira de integração territorial, de estímulo à economia e criação de empregos, pois toda a cadeia produtiva, para exportação ou importação, passa pelos portos. Suprani (2012) indica que o aumento de 10% na infraestrutura de países em desenvolvimento resulta em um crescimento de 1,5% do Produto Interno Bruto (PIB) e, consequentemente, uma redução de 0,5% do número de pessoas que vivem abaixo da linha da pobreza. Apesar das vantagens inerentes aos investimentos nos setores base da economia, na maioria das vezes, eles vêm sendo realizados de forma desorganizada, visando apenas os resultados financeiros, em detrimento de aspectos ambientais e sociais. Essa realidade se agrava quando contextualizada em países em desenvolvimento. Entretanto, priorizar somente o desenvolvimento econômico em curto-prazo, e deixar suas consequências para serem analisadas a longo-prazo (*“grow now, clean up later”*), deve ser evitado, conforme alertado pelo relatório do Banco Mundial (THE WORLD BANK, 2012). Segundo essa importante publicação, o atual modelo de desenvolvimento mundial é insustentável e profundamente ineficiente. Sugerem-se abordagens estratégicas, que visem necessidades em horizonte de 5 a 10 anos, as quais demandam esforços conjuntos da classe política, sociedade, indústria e pesquisas acadêmicas.

Crescimento econômico e desenvolvimento sustentável representam um dos

maiores desafios para serem enfrentados conjuntamente nas próximas décadas, sobretudo nas áreas portuárias que apresentam relevantes interações entre homem e meio ambiente. Apesar desses dois movimentos parecerem antagônicos e divergentes, Vellinga (2011) mostrou, por meio de exemplos bem-sucedidos no Porto de Rotterdam, Países Baixos, que a quebra desse paradigma passa pelo entendimento que ambos devem ser complementares. Adicionalmente, o desenvolvimento sustentável representa um caminho importante para alcançar o crescimento econômico e, sobretudo, fator chave para as atividades comerciais e operacionais. Portanto, a visão integrada do tripé sustentável (Economia, Sociedade e Meio Ambiente) deve ser aplicado como prática recorrente na Engenharia, gerando oportunidades outrora não descobertas e não apenas atendendo requisitos legais para obtenção de licenças.

Apesar do crescente comércio global marítimo, a ideia de que portos são somente locais onde os navios são carregados e descarregados está, gradativamente, sendo ampliada para um conceito maior, o qual exige uma abordagem mais sistêmica e transparente. O setor portuário, por sua natureza multidisciplinar e, por sua importância na infraestrutura e economia dos países, apresenta características desafiadoras a serem pesquisadas de forma integrada e sustentável.

Na Europa, a preocupação em direção ao movimento sustentável aplicado aos portos pode ser notada nas recentes publicações de instituições ligadas ao setor, as quais redefinem diretrizes importantes. A mudança de pensamento passa pelo afastamento da forma reativa da abordagem atual dos portos, visando o curto prazo, em direção a uma postura proativa que planeja em longo-prazo (PIANC, 2014b).

Portos apresentam a função de pontos nodais dentro da cadeia logística e, portanto, podem contribuir consideravelmente para o desenvolvimento sustentável, por meio de suas posições estratégicas e influências nos demais sistemas. Dentro da estratégia de desenvolvimento portuário verde, a sustentabilidade é uma escolha econômica baseada no planejamento proativo em longo-prazo (PIANC, 2018).

A abordagem sustentável representa, em outras palavras, a busca por processos que requerem menor energia, com o menor impacto ambiental possível; ou seja, a busca pela maior eficiência. A indústria portuária visa transferir mercadorias com essa mesma eficiência, a qual torna o processo mais barato e lucrativo. Portanto, incluir a visão sustentável e integrada não deve encarecer o setor, e sim, organizá-lo de forma a aplicar os recursos eficientemente (VELLINGA, 2011).

Define-se, portanto, Porto Sustentável como aquele desenvolvido e operado, proativamente e responsavelmente, pela Autoridade Portuária, juntamente com demais usuários, baseados na estratégia de crescimento econômico verde, na filosofia de Construindo com a Natureza e, na participação dos agentes envolvidos; por meio da visão a longo-prazo de sua implantação e, pela sua posição privilegiada dentro da cadeia logística; assegurando o desenvolvimento que antecipa as necessidades das gerações futuras, para seus próprios benefícios, e a prosperidade da região que lhes serve (PIANC, 2018b).

3.2 ASPECTOS RELEVANTES PARA O PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DE PORTOS SUSTENTÁVEIS

A estratégia sustentável portuária planeja e gerencia os efeitos de suas atividades nos demais sistemas relacionados (costas, estuários, deltas, cidades), considerando os agentes como parte integrante desses sistemas. Portanto, sustentabilidade inicia-se na fase de concepções (projeto): escolha do local de implantação, dimensões, necessidades econômicas, tecnologias disponíveis, flexibilidade operacional e continua nas fases de construção e operação, visando o longo-prazo. Reconhecer e entender, de forma transparente, as relações que os portos apresentam em suas regiões de influência, implica em considerar futuros impactos para os pássaros e peixes, poluição sonora e visual, elevações do nível do mar, intensificação de tempestades, interação da nova cadeia logística com as cidades ao redor, mudança no transporte de sedimentos, proteção das praias de ressacas e tempestades, processos de dragagem, entre outros. Os fatores descritos devem ser analisados, simulados e entendidos, no mesmo período que os aspectos econômicos, como: navios, terminais, equipamentos portuários, estradas, carga, armazenagem e movimentação anual. O Plano Diretor portuário que considera esses diversos fatores em sua fase de projeto tem maior possibilidade de descobrir oportunidades para o crescimento econômico.

Abaixo, apresentam-se os elementos chave dentro do conceito de Portos Sustentáveis, segundo o relatório da PIANC (2014b):

- visão a longo-prazo que vise uma pegada ecológica aceitável;

- participação transparente e ativa dos agentes envolvidos de forma a participarem das estratégias de operação e desenvolvimento;
- mudar o comportamento de sustentabilidade como obrigação legal, para sustentabilidade como propulsor econômico (desenvolvimento econômico e sustentabilidade como fatores complementares);
- compartilhamento de conhecimento entre portos e agentes envolvidos;
- esforços contínuos em direção à inovação de processos e tecnologia.

Pontos importantes que deverão ser tratados na análise sustentável para portos:

- qualidade ambiental (solo, água, ar e ruídos);
- habitat e integridade dos ecossistemas;
- eficiência energética e substituição para energias renováveis;
- gerenciamento de materiais e rejeitos;
- adaptações e mitigações frente às mudanças climáticas;
- participação dos agentes envolvidos e responsabilidade social;
- cooperação entre setor privado, público, ONGs, acadêmico e demais portos.

3.3 PORTOS FLEXÍVEIS

3.3.1 O Papel dos portos flexíveis no cenário atual

A consciência que a abordagem sustentável para os portos não é somente uma defesa ambiental, mas também um propulsor econômico e social importante a longo-prazo, permite análises mais abrangentes e levanta uma questão relevante quanto às incertezas do futuro. Desenvolver um planejamento portuário para os próximos 30 anos implica em criar cenários, por meio de suposições e análises históricas do passado, que muitas vezes não se concretizarão. Caso a previsão não tenha sido feita de modo correto, esses modelos rígidos de desenvolvimento tornam os empreendimentos obsoletos no futuro, ou mesmo extremamente conservadores e caros, pois tentam cobrir os riscos dos cenários mais pessimistas. Scholtes (2007) indicou que o conceito da flexibilidade é o mais importante dentro do gerenciamento de incertezas em grandes projetos. Ele ainda sugere que os gestores deveriam

integrar em seus projetos à capacidade de reação flexível diante dos eventuais imprevistos que ocorrerão durante os seus desenvolvimentos. Desta maneira, projetos flexíveis apresentam diferentes perfis de análise de risco, podendo então ser mais atrativos para investidores. (JONG et.al, 2012).

O conceito de flexibilidade nos projetos portuários apresenta papel relevante para atingir a sustentabilidade no setor (TANEJA, VELLINGA e ROS, 2012), pois integra elementos de adaptabilidade ao planejamento a longo-prazo. O Quadro 7, apresenta um resumo dos principais elementos portuários que podem ser flexíveis, assim como conceitos básicos sugeridos pelos autores.

Quadro 7-Flexibilidade portuária e conceitos associados

Elementos flexíveis	Conceitos
Plano Diretor	Projetos que permitam reconfiguração dos espaços. Tornar o Plano Diretor e sua infraestrutura portuária resilientes às futuras demandas com o menor custo possível de adaptação.
Infraestrutura	Modulares, multifuncionais, estruturas multiuso. Projetos executados em fases.
Operações portuárias	Usos flexíveis de recursos (mão-de-obra, equipamentos, etc.). Permitir a mudança de escala e/ou tipo de operação portuária com o menor custo possível de adaptação.
Gerenciamento portuário	Permitir a alteração de abordagens diante de novas circunstâncias inesperadas. Gerenciamento de efluentes e poluição. Reuso de recursos e conservação de energia. Disseminar, inspirar e exigir a aplicação dos conceitos de flexibilidade nas fases de projeto, construção e operação do porto.

Fonte: adaptado de Taneja, Vellinga e Ros (2012)

Os maiores problemas encontrados no desenvolvimento das diretrizes que guiam o desenvolvimento e o crescimento de um porto são as incertezas relacionadas às demandas do futuro, relativas ao tipo de carga, quantidade de carga e dimensões dos navios.

A forma tradicional de planejamento portuário consiste em focar no plano diretor, no dimensionamento de estruturas e nas avaliações dos projetos, a fim de atender às demandas que existem no presente. Essa abordagem negligencia as incertezas quanto a demanda no longo-prazo, que é a chave para um futuro próspero de um porto.

A sinergia entre a previsão futura feita por um economista, o planejamento feito pelo engenheiro e o estudo comercial feito por um investidor dão base para o tomador de decisões fazer a escolha certa quanto às diretrizes a serem seguidas e à elaboração do plano diretor.

O objetivo do Porto Flexível é permitir a adaptação em qualquer caminho que a tendência do mercado siga, seja continuando a atual tendência de containerização das cargas, de crescimento do porte dos navios que cada vez mais requerem canais de acesso mais profundos, ou mesmo somente permitindo a expansão, caso haja um crescimento da demanda maior que o previsto na fase de projeto.

Alguns conceitos relacionados à flexibilidade são: acessibilidade, compatibilidade, construtabilidade, desconstrutabilidade, descartabilidade, durabilidade, permutabilidade, interoperabilidade, manutenibilidade, modularidade, produtividade, qualidade, reciclabilidade, escalabilidade, separabilidade (ex: evitar uso de juntas monolíticas), usabilidade (facilidade de uso da estrutura, equipamento, serviço), confiança, resiliência, segurança, padronização e, principalmente, versatilidade (capacidade de exercer outras funções além das originais).

A construção de portos flexíveis pode parecer mais custosa em um primeiro momento, mas seu objetivo fica mais claro quando se olha para o futuro (TANEJA, 2013). Com o avanço do projeto e com a chegada de novas informações, adaptações que permitam melhor aproveitamento da infraestrutura e da área disponível para a construção fazem com que o maior custo inicial não necessariamente seja um maior custo final, beneficiando o porto da possibilidade de melhoramentos no projeto ainda durante a fase de construção, melhorando o atendimento às demandas, tanto presentes quanto futuras, e fazendo com que sua vida útil seja maior e os custos de adaptações sejam menores.

Flexibilidade em estruturas portuárias tem como objetivo evitar a necessidade de adaptações e, principalmente, de demolições, prevendo diferentes usos para uma mesma estrutura. Desse modo é facilitado o reuso da estrutura, a economia de recursos naturais empregados na construção, a diminuição da geração de resíduos, gerando menos impactos ambientais e reduzindo o custo da estrutura pelo seu tempo de operação, contribuindo para que o porto seja sustentável. (TANEJA, VELLINGA E ROS, 2012).

No Século XXI o comércio mundial ganhou grandes proporções e, com novos produtos no mercado, a competitividade aumentou muito. Para que os produtos provenientes de diferentes localidades sejam competitivos, é necessário que haja baixo custo de transporte, portanto cada vez mais os navios crescem e são necessárias maiores e mais robustas estruturas para atendê-los.

Grande parte dos portos existentes no Século XX eram estuarinos. A construção de portos dentro de estuários proporciona um abrigo natural das ondas, porém a profundidade natural do canal usualmente é limitada. Isso gera conflito com a necessidade de canais com profundidades que ultrapassem 15,00 m. O custo de dragagem resulta elevado e, portanto, atualmente existe uma tendência de migração dos portos para fora do estuário, para áreas em que a profundidade natural seja maior, sem necessidade de dragagem, ou pelo menos que ela seja reduzida. Contudo, são necessárias grandes estruturas que abriguem os navios das ondas, gerando um custo de implantação um tanto elevado.

Esses portos afastados da costa têm função de *hubs* (portos concentradores), onde os maiores navios chegam carregados de longas viagens interoceânicas (longo curso) e distribuem suas cargas em navios menores para cabotagem e/ou para a hinterlândia, a fim de abastecê-la. Seu objetivo é ser um elo na cadeia logística entre os centros de produção e consumo, uma plataforma logística, que visa atender às demandas não só do presente, mas que tenha capacidade extra para atender os crescimentos futuros. Na região destes hubs se formam complexos econômicos onde diversas indústrias tendem a focar suas operações, visando a redução de custo e tempo com transporte.

3.3.2 Riscos Associados

Além das incertezas que acompanham o planejamento do porto, ainda existem riscos associados a longos períodos de retorno para os investimentos. Para que o investimento consiga ser lucrativo deve atender às expectativas durante um longo período, suficiente para que o investimento se pague e, portanto, deve ser capaz de ser adaptado para eventuais mudanças no cenário da logística portuária que venha a

ocorrer. A não adaptação do porto às exigências pode fazer com que ele perca sua posição competitiva para portos concorrentes.

Uma pesquisa feita pela Conferência da ONU sobre mercado e desenvolvimento (UNCTAD) evidenciou que, entre julho de 2004 e julho de 2010, o tamanho médio dos navios aumentou 65%. Em fevereiro de 2011, a *Maerskline* encomendou 10 navios *Triple E class* com capacidade para transportar 16.000 TEUs. Em junho de 2008, uma fabricante de navios Sul Coreana anunciou seu sucesso em desenvolver um navio com capacidade para 22.000 TEUs, realidade que atualmente já foi inclusive superada por embarcações que já chegam a 24.000 TEUs, gerando uma necessidade ainda maior de profundidade nos canais de acesso dos portos e estruturas mais robustas para dar suporte à atracação. Esse crescimento no tamanho dos navios é outro fator importante a ser levado em conta nas incertezas e, consequentemente, nos riscos associados ao desenvolvimento portuário. É difícil prever se a tendência de crescimento dos navios vai se manter ou se as dificuldades de acomodação desses navios, que advém dos grandes calados e de sua inércia, nos berços e canais irão barrar essa tendência.

Há também riscos associados à problemáticas econômicas. Crises econômicas afetam todo o comércio marítimo, independentemente da situação do porto em questão. Com a crise de 2008, o número de navios no porto de Singapura, em abril de 2009, caiu 17,7% quando comparado ao mesmo período do ano anterior (MARITIME PORT AUTHORITY OF SINGAPURE, 2009). A crise econômica atual, devida à pandemia de COVID-19, ao final deverá ser ainda maior.

3.3.3 Conceito tradicional de planejamento portuário

Dentro das categorias de pesquisa no contexto de planejamento portuário, destaca-se o de portos flexíveis, que inclui a previsão da demanda e capacidade do porto, plano diretor, dimensionamento e construção da infraestrutura, financiamento, análise de incertezas, métodos de avaliação de projetos e análise de impactos econômicos.

Tradicionalmente, determinar o tamanho ótimo dos terminais e do porto, extrapolando as tendências históricas é o caminho adotado pelos engenheiros,

economistas e investidores, com objetivo de prever a demanda e planejar a capacidade do porto afim de atendê-la. Outros fatores que devem ser considerados são a disponibilidade espacial na região do porto, custo e as possibilidades em utilizar as instalações do porto e na hinterlândia.

Para organizar essas previsões e planejamentos em uma linha do tempo com objetivos e metas definidos, existe o plano diretor. Seu objetivo é atender a demanda da melhor maneira, criando um porto com estruturas condizentes em tamanho e robustez. Também é sua função prever o crescimento da cidade em torno do porto para que não seja comprometida a acessibilidade do transporte de carga porto-hinterlândia. Nele estão presentes as fases necessárias para implementação do planejamento, os dimensionamentos preliminares da infraestrutura portuária (dragagem, canais de acesso, bacias, quebra-mares, cais, áreas de terminais e vias). Os planos diretores são criados tendo em vista um período de 25 anos e necessitam ser revisados e atualizados frequentemente devido a necessidades pontuais, principalmente de curto prazo, que não interferem diretamente nos projetos contidos no plano diretor.

3.3.4 Flexibilidade nos Planos Diretores

O Porto Gangavaram, na Índia, é um dos poucos “*greenfield ports*¹⁴” existentes atualmente. Seu plano diretor foi elaborado em 2005, seguindo a metodologia tradicional com base em previsões de crescimento econômico em cenários pessimista, moderado e otimista. Foi escolhido o modelo de porto de “propósito múltiplo”, capaz de atender todos os tipos de carga, e seja o mais flexível possível. Foram pensados cenários para curto, médio e longo-prazo e ainda foi feito um planejamento para acomodar futuras instalações após o período de abrangência do plano diretor. Uma área nas redondezas do porto foi delimitada para uma futura expansão portuária, onde a cidade não poderá avançar. (TANEJA,2013).

Outro plano diretor que aborda flexibilidade é o do *Maasvlakte 2*, que tem como mote “*Create your own future*”, se referindo a dar a máxima flexibilidade no

¹⁴ Greenfield Project é um empreendimento que não tem vínculos a projetos anteriores.

planejamento do terminal para o cliente. Tendo em vista que a única maneira de lidar com as incertezas sobre o futuro é fazendo projetos flexíveis, que permitam às estruturas de se adequarem a diferentes futuros. Um ciclo de um ano para serem feitas revisões no Plano Diretor foi definido com objetivo de adaptá-lo às novas tendências.

Com objetivo de criar terminais o mais flexíveis possível, o *Maasvlakte 2* apenas cria terminais quando o contrato é assinado com o cliente, colocando em prática o mote “*Client in sight, land in view*” e a recomendação de Kamperlaan “*Build on the basis of demand, with respect for nature*” (KAMPERLAAN, 2005).

Um estudo de logística de contêineres foi feito tentando colocar em prática uma nova geração de terminais de contêineres e centros de serviços, que são conectados aos terminais de transporte interno, e nesse estudo a alternativa de oferecer flexibilidade em termos de layout do terminal foi a que se saiu melhor.

3.3.5 Modelo estrutural para gerenciar incertezas

Ao se considerar as incertezas no processo de planejamento portuário, verifica-se que existe a necessidade de desenvolver novas formas de planejamento, a fim de minimizar as incertezas do tipo e dimensões do carregamento e das dimensões dos navios. Dessa forma, Taneja (2013) propõe uma nova abordagem de planejamento, deixando de lado planos estáticos de ação para desenvolver outros que possibilitem mudanças, aprendizado e adaptação ao longo do tempo, antecipando os possíveis problemas. A essa nova abordagem foi dado o nome de *Adaptive Port Planning* (APP), e este busca introduzir um plano adaptável, assumindo que o futuro é incerto e prevenindo que os planos de previsibilidade falhem.

A estrutura do APP foi baseada em outros dois métodos propostos anteriormente, sendo eles o Assumption-Based Planning (ABP), detalhado em Dewar (2002), e o *Adaptive Policy Making* (APM), detalhado em Walker (2012). Uma característica importante de cada um dos planos é que o ABP foi concebido para fins militares, para deixar um plano já existente mais robusto, enquanto o APM foi concebido para ser aplicado na criação de novas políticas de planejamento. A

vantagem do APP é que, por combinar os outros dois métodos citados, pode ser aplicado a planos novos ou já existentes.

É relevante observar que, acima de tudo, o planejamento portuário tem sua viabilidade atrelada a questões financeiras e as escolhas e decisões são baseadas no equilíbrio entre custos e benefícios em todos os níveis. Além disso, a flexibilização dos planos requer a avaliação do custo-benefício de sua implantação, levando em conta a probabilidade de se empregar esta flexibilidade no futuro.

Pode-se abordar as diferentes estratégias a depender do horizonte de operação e da incerteza associada, podendo variar de pouca incerteza (futuro próximo) até muita incerteza (futuros diversos), ou completamente incerto. Também podem ser empregadas ferramentas e técnicas como *brainstorming*, cenários possíveis de ocorrer ou uma abordagem probabilística.

3.3.6 A flexibilidade na infraestrutura portuária

Para se obter um melhor planejamento e flexibilidade na infraestrutura portuária, são abordadas aqui algumas estratégias. Inicialmente, é importante destacar que existem dois tipos diferentes de flexibilidade a serem abordados: são os conceitos de flexibilidade passiva e ativa.

Pode-se entender por flexibilidade passiva os atributos que facilitam o reuso de uma estrutura sem necessitar de adaptação, como projetos mais robustos e versáteis. Já a flexibilidade ativa pode ser definida como os atributos que facilitam a adaptação de uma estrutura ou de seus elementos para reuso, como por exemplo interoperabilidade, compatibilidade, escalabilidade, padronização e modularização. Existem ainda atributos como reciclabilidade, durabilidade e manutenibilidade, que promovem o reuso da infraestrutura e seus elementos que se enquadram nos dois casos (ativo e passivo).

Segundo Egyedi (2002), as estratégias mais comuns que contribuem para a flexibilidade na infraestrutura física são *designs* genéricos, padronização e modularização.

Designs genéricos podem ser entendidos como um padrão estético-funcional de um mesmo objeto que, por isso, pode ser empregado para diversos usos ou aplicações distintas. Um exemplo citado é o de paredes de cais, que podem ser projetadas de forma genérica (com apenas algumas adaptações) permitindo a sua aplicação em diversos locais ao longo do porto, mesmo onde embarcações diferentes operam. Assim, permite-se a flexibilidade pois não são necessários projetos diferentes para a construção de peças diferentes, pois apenas um modelo contempla todas as aplicações.

A padronização de elementos é uma estratégia de desenvolvimento e implementação de modelos para atingir níveis aceitáveis de permutabilidade e flexibilidade. A padronização de elementos ajuda a customização em massa e, assim, economias de escala. Chase, Jacobs e Aquilano (2006) definem customização em massa como uma forma de efetivamente atrasar ao máximo a tarefa de diferenciação de um produto para um consumidor específico, obtendo assim um maior ciclo de produção igual para produtos diferentes.

A modulação no *design* se refere ao uso de unidades ou dimensões padronizadas para facilitar a flexibilização em uso através de atributos como interoperabilidade, permutabilidade e escalabilidade em sistemas. A modularização organiza e permite o trabalho paralelo, promovendo uma eficiente divisão de trabalho e reuso dos recursos ao longo da construção através de módulos (que podem ser trabalhados simultaneamente). Já a escalabilidade nos processos permite a divisão de um projeto de engenharia em fases. Essa divisão permite a absorção de rápidas mudanças, reduzindo efeitos negativos de incertezas e até criando oportunidades, podendo ainda possibilitar processos de decisão mais flexíveis.

Seguindo as recomendações das estratégias para a flexibilização, as estruturas flexíveis são frutos de diversos estudos focados em flexibilizar, realocar e reutilizar os recursos. Incorporar atributos que facilitam o reuso da estrutura diminui o risco das construções perderem sua funcionalidade e se tornarem obsoletas. As estruturas flexíveis podem ser detalhadas em estruturas realocáveis, ou seja, estruturas que podem ser transportadas e reintegradas ao porto, estruturas multifuncionais, que podem ter diversas funções em apenas uma estrutura (como por exemplo transporte e armazenamento na mesma estrutura), estruturas multiusuário, em que vários operadores do porto podem utilizar juntos para reduzir e dividir os custos e estruturas

subterrâneas, que aumentam a flexibilidade através da não ocupação de espaço no solo embora esteja em funcionamento.

3.3.7 Análise dos riscos

Para o desenvolvimento de projetos é necessário considerar os riscos associados a todas as atividades envolvidas no desenvolvimento destes. Normalmente existem duas maneiras de examinar e enfrentar esses riscos: “esperar e reagir” que lida com uma resposta tardia, e “prever e agir” que conduz a uma ação equivocada, pois as previsões geralmente estão erradas (especialmente, quando se trata de futuros muito distantes).

Tendo isso em vista, Taneja (2013) propôs um modelo que segue um caminho intermediário entre os dois citados anteriormente. O planejamento de portos flexíveis incorpora sistemas de monitoramento e de ação, que tentam rastrear os maiores riscos presentes no projeto e acionam um sinal em um momento pré-definido e pré-estabelecido pelo projetista, de modo a impedir futuras ameaças que possam prejudicar o funcionamento do sistema portuário como um todo. Esse modelo envolve muitas dificuldades para a implementação, a primeira delas é a necessidade de incorporar um sistema de previsão.

O monitoramento tem como objetivo essencial a avaliação de eventos, envolvendo atividades como medições, detecções, análises e previsões. As previsões empregam complexos sistemas matemáticos e uma extensa lista de dados históricos, em que se busca estabelecer futuros comportamentos e vindouras tendências. Com base em ferramentas matemáticas é possível empregar métodos estatísticos, que associam dados históricos para criar modelos de simulações que reproduzem em outra escala o que ocorre na realidade. Pode ser aplicado para prever variáveis como tráfego rodoviário e ferroviário, demandas e movimentações de carga, produtividade do terminal e do cais, eficiência dos guindastes e equipamentos portuários. No entanto, tais variáveis dependem de outras incógnitas. Por exemplo, para estabelecer a produtividade de um terminal é necessário determinar o tipo e o número de equipamentos, o modelo de movimentação e transporte de cargas, área do terminal e

tempo diário de operação, o que torna a previsão e o monitoramento atividades complexas e árduas.

Esses sistemas de previsão são considerados no Plano Principal do projeto de um porto e desempenham um papel importante, tanto em aspectos econômicos quanto em aspectos políticos e administrativos das instalações portuárias. Além disso, outro fator imprescindível no projeto, que deve ser levado em consideração na previsão e no monitoramento do plano portuário, é o ritmo acelerado das mudanças tecnológicas, que podem afetar principalmente a produtividade e as atividades do mercado. Algumas dessas mudanças que influenciam no arranjo do terminal e na capacidade da infraestrutura são: tamanho das embarcações, disponibilidade de equipamentos de movimentação de carga no cais e no terminal, logística e transporte.

3.3.8 Implementando o APP – *Adaptative Port Planning*

A fundamentação por trás do método de planejamento de portos adaptáveis consiste em aceitar as incertezas, tomar conhecimento do papel da flexibilidade nos portos e procurar ativamente por inovações. O maior problema desse método é que ele vai de encontro com o método tradicional de planejamento portuário, que visa atender a demandas momentâneas, com o menor custo possível, sem avaliar custos futuros em caso de necessidade de adaptações. Esse método tradicional está diretamente ligado à crescente competitividade entre terminais portuários que procuram oferecer um serviço ao cliente pelo menor custo possível, tendo em vista a concorrência advinda de outros portos. Portanto, o projeto que atenda as exigências com o menor custo de implantação possível é o favorito nesse cenário e, por ter menor custo, atinge o ponto de equilíbrio da viabilidade mais rápido, sendo mais atraente em uma primeira análise para os investidores.

Alguns graus de inovação são resumidos em conceitos como:

Inovação Incremental: tem objetivo de melhorar o que já existe, aperfeiçoar soluções que já são aplicadas para problemas atuais (redução de custos, melhorias na qualidade e na produtividade).

Inovação Evolucionária: refere-se a resolver os problemas existentes e tentar antecipar os novos problemas, através do pensamento a longo-prazo, antes mesmo que eles surjam, aplicando as melhores soluções possíveis. Resulta em produtos e processos particularmente superiores.

Inovação Revolucionária: consiste em ideias completamente inéditas que podem afetar, transformar, ou até mesmo desmontar a estrutura e a tecnologia e processos existentes no mercado. São resultados de descobertas feitas aparentemente por acaso, geralmente a partir de soluções inadequadas para problemas existentes. É uma inovação não planejada, ao contrário das outras citadas anteriormente.

Para o setor marítimo, a containerização representa uma inovação revolucionária, o desenvolvimento de maquinários apropriados para manusear os contêineres (portêineres, por exemplo) pode ser classificado como inovação evolucionária e melhorias nos contêineres e nas máquinas que fazem o transbordo se enquadram em inovação incremental.

3.4 PORTO DO FUTURO

3.4.1 Influência e pressão do desenvolvimento portuário sobre o ecossistema costeiro e estuarino

A tendência atual de crescimento do comércio internacional, aumento do tamanho das embarcações, e a necessidade de modernização da infraestrutura portuária, tem demandado investimentos imediatos nos portos de todo o mundo (PIANC-THE WORLD ASSOCIATION FOR WATERBORNE TRANSPORT INFRASTRUCTURE, 2014c).

Atualmente, o interesse político no crescimento sustentável é um item explícito na agenda de diversos países, particularmente nos países do Leste Asiático, da África e da União Europeia. Trata-se de um interesse também presente no desenvolvimento portuário. Diversas organizações marítimas internacionais, ONGs e Bancos lançaram iniciativas de sustentabilidade com foco no desenvolvimento portuário.

Em razão da demanda por modelos mais sustentáveis de desenvolvimento, buscou-se o conceito de desenvolvimento portuário “sem-impacto”, em conjunto com os princípios de engenharia de infraestrutura, morfologia costeira e perspectivas ecológicas e socioeconômicas. Procuraram-se oportunidades para a transformação do desenvolvimento portuário tradicional em um desenvolvimento sustentável de longo-prazo.

O desenvolvimento portuário “sem-impacto” (*no-impact*) surge com base na abordagem de gestão ecossistêmica (*ecosystem-based management, EBM*) (UNEP, 2011), que procura restaurar e proteger a saúde, funcionamento e resiliência de todos os ecossistemas, beneficiando todos seus organismos e reconhecendo a ligação entre o nosso bem-estar e a saúde do meio ambiente. A definição de um porto “sem-impacto” é a daquele que não possui qualquer impacto negativo no ecossistema e que reconhece os diversos sistemas ecológicos como uma mescla de elementos que interagem entre si nos oceanos e áreas costeiras, e que, com base na abordagem ecossistêmica, é projetado e executado como um processo adaptável que aplica princípios do método científico no processo de gerenciamento.

Apesar da enorme importância econômica dos portos, demandas por terras, dragagem e construção em larga escala tem afetado negativamente os ecossistemas locais e regionais onde os portos estão inseridos. Além disso, os projetos portuários se confrontam com a crescente escassez de localizações privilegiadas, regulações ambientais, limitado espaço para expansões sustentáveis, e incerteza quanto aos impactos devido às mudanças climáticas e tecnológicas.

Como citado por Moreira (2009), a Autoridade Portuária de Rotterdam segue a tendência da União Europeia para tornar o sistema do porto independente, associando-se à questão de energia limpa, onde investimentos serão realizados em outras fontes de energia, tal como a energia eólica, de forma a garantir o suprimento de energia da indústria, resultando na contribuição do complexo industrial portuário para a segurança energética da região europeia onde está inserido.

A Autoridade Portuária de Rotterdam realizou acordos com diversos parceiros, com o intuito de alcançar a capacidade total instalada de 300 MW, valor que representa 9,75% da capacidade de produção de energia eólica realizada em terra nos Países Baixos atualmente. Uma turbina eólica moderna comum (de 3 MW) é capaz de prevenir a emissão de aproximadamente 4.000 toneladas de CO₂, valor equivalente à emissão de 1.000 carros, cada um percorrendo 25.000 km por ano. A quantidade de energia necessária para construir, instalar, manter e desmontar uma turbina eólica após um ciclo de vida de 20 anos é recuperada em 3 a 6 meses de operação. Há ainda 3 campos eólicos a serem realizados no *Maasvlakte 2*, com capacidade instalada de 150 MW.

Os potenciais impactos do desenvolvimento portuário no ecossistema costeiro dividem-se em três categorias: impactos morfológicos, impactos químicos (contaminação) e impactos biológicos (espécies exóticas). Não se pode evitar completamente os impactos químicos e biológicos, visto que a tecnologia atual ainda não foi desenvolvida a tal nível que permita torná-los neutros. Entretanto, a severidade dos impactos dependerá de cada caso.

Os maiores riscos e oportunidades para o desenvolvimento portuário “sem-impacto” residem na categoria morfológica do sistema. Ao se realizar uma dragagem, altera-se a morfologia natural, tanto no local de dragagem, quanto no local de deposição do material dragado. Esta alteração pode afetar a hidrossedimentologia do ecossistema devido à mudança da interação entre as correntes marítimas e os

sedimentos, resultando em uma mudança das condições ambientais, tais como turbidez e dimensão das partículas dos sedimentos. Os impactos da dragagem ainda não são bem conhecidos, apesar do progresso dos últimos 20-30 anos em estimá-los. Entretanto, é provável que as operações de dragagem afetem o funcionamento do ecossistema no curto prazo, devido à perda de estruturas físicas e funções de bioturbação.

Notou-se que a deposição do material dragado em áreas já empregadas para esse fim apresentou menores impactos e, em alguns casos, apresentou benefícios (STRONKHORST, 2003). Os fatores que determinam se existirão ou não efeitos adversos são: a qualidade do material dragado (em termos de carbono orgânico, contaminação e sedimentos similares), a quantidade, a frequência da deposição e a natureza do ambiente na área de deposição. Desses quatro fatores, três podem ser ajustados para atenderem a um cenário mais sustentável e são eles: qualidade do material dragado, quantidade e frequência. A localização para a deposição do material dragado dependerá de escolhas subjetivas, isto é, da atribuição de maior ou menor valor das áreas potencialmente afetadas. (BOLAM, 2006).

Atualmente as operações de dragagem se tornaram mais sustentáveis e criaram-se opções para a realocação do material dragado. Entretanto, a repetição das operações de dragagem impede a recuperação do meio ambiente. Assim, de forma a alcançar o desenvolvimento portuário sustentável, deve-se optar por uma localização com maiores profundidades e com menores impactos no processo de sedimentação.

O potencial do desenvolvimento portuário sustentável em não acarretar impactos no ecossistema costeiro dependerá dos fatores de mitigação de contaminantes, perturbação e espécies exóticas. Para incluir o ecossistema no projeto e gerenciamento do porto sustentável, deve-se avaliar o estado atual do ecossistema costeiro e as suas necessidades. Além disso, também deve-se ter um bom monitoramento de indicadores do funcionamento do ecossistema, tais como níveis de nutrientes e abundância de espécies fundamentais.

3.4.2 Influência do meio físico sobre os portos

A influência do meio físico no porto e a importância da escolha da localização fazem parte do processo de projeto. Salienta-se a importância da localização do porto com base no atendimento da hinterlândia de interesse e a necessidade de analisar diversos critérios que podem afetar o projeto e a operação do porto, tais como: presença de costa rochosa ou arenosa, exposição a ondas e correntes de maré, situação morfológica, e presença de infraestrutura.

Costas arenosas em geral apresentam menores custos de dragagem e pode-se realizar a recuperação de terras (demanda por terras) por engordamento de praias. Entretanto, operações em costas arenosas afetam o transporte de sedimentos. A interrupção do transporte de sedimentos resulta em deposição de sedimentos de um lado e erosão de áreas (como praias) adjacentes do outro. Além disso, as bacias portuárias são propícias ao depósito natural de sedimentos, obrigando operações de dragagem de manutenção.

Ondas de curto período (com períodos de onda de 4 a 18 s) e ondas de longo período (com períodos de onda superiores a 30 s) podem ocasionar movimentação das embarcações. A proteção contra tais ondas é normalmente obtida com a construção de quebra-mares. Já as correntes de marés devem ser levadas em conta para a manobra dos navios. Além disso, a variação do nível de água devido aos regimes de maré pode interromper o acesso de grandes embarcações. Dessa forma, deve-se propiciar maiores profundidades (por dragagem, por exemplo) ou prever de forma exata as janelas de maré que permitam a passagem das embarcações. Técnicas inteligentes e inovadoras de amarração também podem auxiliar a redução do impacto das ondas nas operações dos navios.

Considerando-se a infraestrutura de transportes deve-se buscar um modal com grande capacidade e baixo risco de congestionamento, seja por qualquer um dos modais, rodoviário, ferroviário, dutoviário. ou por vias navegáveis, sendo os três últimos modais preferíveis em relação ao primeiro, considerando-se o ponto de vista ambiental. A tendência atual entre os portos é a da escolha por esses três últimos modais.

Quanto à situação morfológica, há o problema da interrupção do transporte de sedimentos, devido à tendência de deposição de sedimentos em uma região e erosão em outras. O efeito da interrupção do transporte de sedimentos pode ocorrer em consequência da construção de molhes ou quebra-mares.

3.4.3 Modelos de gestão e governança

A localização de um porto e seu projeto estão ligados diretamente às atividades que por ele propiciadas. Estas atividades podem ser exclusivamente para exportação ou importação e transbordo, podem ainda ser somente para um tipo de carga ou uma combinação de diferentes tipos. Por exemplo, o porto de Rotterdam, cujo objetivo é principalmente o transbordo de todos os tipos de carga e onde múltiplas atividades industriais estão localizadas, deve ser capaz de receber diferentes tipos de embarcações e principalmente, deve possuir boa infraestrutura para o acesso da hinterlândia, salientando-se que os terminais de contêiner são mais restritivos quanto às condições de ondas e de correntes. (PIANC, 2012).

No passado, a localização do porto era decidida com base na presença de atividades econômicas e de abrigo natural, tais como estuários ou baías. (NOTTEBOOM E RODRIGUES, 2005), formularam um modelo de desenvolvimento portuário contemporâneo, que inclui o surgimento dos terminais concentradores de carga *offshore* e incluem o sistema de distribuição de carga na hinterlândia como um dos principais propulsores para o desenvolvimento portuário. Os portos atualmente estão se especializando devido a considerações geográficas, tais como proximidade e intermediação entre produção e consumo. O modelo desenvolvido considera as seguintes fases: 1) portos dispersos, 2) penetração e captura de hinterlândia, 3) interconexão e concentração, 4) centralização, 5) descentralização e inserção de *hubs offshore* e 6) regionalização.

Assim, a competição de mercado entre os portos ocorre na hinterlândia contestável. Em hinterlândias contestáveis, os transportadores decidem suas escolhas de transporte com base no custo logístico generalizado de toda a cadeia de transporte, desde sua origem até seu destino. Assim, para aumentar seu volume de movimentação de carga, os portos buscam reduzir custos. Tal incentivo de redução

não está presente em portos cativos. Distinguir a hinterlândia atendida é de extrema importância para a viabilidade financeira de um porto, visto que a maior competição e necessidade de investimentos ocorre em portos operando com hinterlândias contestáveis.

Assim, no desenvolvimento portuário “sem-impacto” em hinterlândias cativas, os possíveis custos mais elevados do porto sustentável podem ser absorvidos pelos próprios transportadores. Já nos casos de hinterlândias contestáveis, os custos podem ser absorvidos pelo Governo, visto a maior dificuldade em repassar o aumento dos custos para os transportadores.

O modelo de gestão portuária mais comum entre os portos brasileiros é a de *landlord port model*, onde a Autoridade Portuária detém a posse da infraestrutura portuária básica (tais como quebra-mares, caís e bacias). Os caís são concedidos para as operadoras privadas. Neste modelo, a Autoridade Portuária é responsável pelo gerenciamento econômico do porto e pela manutenção da infraestrutura básica comum.

As operadoras privadas são responsáveis pela manutenção da sua própria superestrutura, equipamentos e sistema de informação. Assim, os principais *stakeholders* envolvidos são a Autoridade Portuária Pública e as operadoras privadas.

O fundo para investimento em infraestrutura básica pode ser fornecido pelo governo na forma de subsídios e os investimentos nos terminais são realizados pelas próprias operadoras com base em estudos de viabilidade.

Uma vantagem importante é a existência de cláusulas a respeito de como os terminais devem ser empregados, graças à relação contratual entre a Autoridade Portuária e as operadoras. Pode-se exigir, por exemplo, a restrição de emissão de CO₂ nas operações portuárias.

Outro modelo de gestão comum no Brasil é o *private sector port*, isto é o modelo de porto privado. Há dois tipos de portos privados: aqueles construídos para dar suporte às atividades operacionais de uma companhia privada (portos ligados a uma companhia mineradora, por exemplo), que não necessitam ser lucrativos, e aqueles construídos para serem lucrativos por si mesmos. A principal vantagem deste modelo de gestão é que o desenvolvimento portuário costuma ser orientado com base no mercado. Desta forma, os investimentos são avaliados cuidadosamente, o que

permite a consideração de riscos tanto no curto prazo quanto no longo-prazo, inclusive levando-se em conta os riscos relacionados às mudanças climáticas. Contudo, este modelo pode tornar mais difícil a imposição de políticas de desenvolvimento sustentável que não ocorram pela forma de lei ou regulação. O principal *stakeholder* do modelo é a Autoridade Portuária Privada e o Governo pode ter um papel fundamental com o processo de licenciamento.

A localização do porto não está limitada somente por restrições físicas, mas também é limitada por critérios socioeconômicos e políticos. Disponibilidade de área, localização e acessibilidade aos mercados são fatores determinantes (NOTTEBOOM E RODRIGUES, 2005). Como normalmente o desenvolvimento portuário se dá como uma continuidade na evolução histórica, há também um certo grau de dependência histórica. Assim, o foco do desenvolvimento portuário dos portos existentes será o de aumento da capacidade dentro ou próximo a área portuária existente.

Nota-se que o processo de projeto e escolha da localização portuária são geralmente desassociados. Normalmente a Autoridade Portuária decide a localização do porto e então solicita o projeto para esta localização a uma empresa de projetos.

Todos os modelos de gestão portuária permitem o desenvolvimento de modelos portuários sustentáveis e de portos “sem-impacto”, contudo deve-se considerar os benefícios à sociedade gerados pelo desenvolvimento sustentável. Tais benefícios resultam em melhor imagem junto ao público, vantagem dos modelos com maior envolvimento do setor público, tal como o modelo de *landlord port*, que tem a facilidade de implementação de padrões de sustentabilidade, desde que os fundos (subsídios) necessários estejam disponíveis. Além disso, portos dirigidos pelo setor público podem incorporar externalidades negativas em seus casos de negócios (*business cases*), assim os efeitos das externalidades se tornam visíveis e servem de incentivo para o desenvolvimento de projetos mais sustentáveis. Já a vantagem de portos privados reside na ausência de investimento governamental adicional para o desenvolvimento portuário, entretanto, considerando-se que em geral portos “sem-impacto” demandam maiores investimentos, torna-se necessário uma forte regulação governamental para que os operadores privados tenham os incentivos necessários para desenvolver um porto nesses moldes.

3.4.4 Fundamentação socioeconômica do desenvolvimento portuário

Grande parte dos novos desenvolvimentos portuários se dará em países emergentes. Espera-se que estes países construam uma importante parte de sua infraestrutura nas próximas décadas. Suas escolhas determinarão as opções futuras e a vulnerabilidade de suas infraestruturas, como por exemplo a habilidade de adaptar a infraestrutura às mudanças climáticas e ao desenvolvimento demográfico e socioeconômico. Um dos desafios será desenvolver a infraestrutura portuária com mínimas consequências externas negativas. O conhecimento do impacto de um porto no bem-estar social de um país pode ser empregado para determinar quais impactos devem ser minimizados. Este conhecimento também poderá fornecer aos governos uma fundamentação para investir em outro tipo de porto. A análise do Custo-Benefício Social (*Social Cost Benefit Analysis*) deve analisar os custos econômicos e os benefícios de um porto para a sociedade como um todo, mas também considerar os custos financeiros e os benefícios para o investidor.

Em geral, a maximização do lucro é entendida como o objetivo dos investimentos no setor privado, enquanto a maximização dos benefícios líquidos sociais é o objetivo conjunto do setor público. Tendo em vista este último objetivo, a Análise do Custo-Benefício Social (SCBA) é empregada frequentemente para dar suporte ao processo de tomada de decisão em muitos tipos de projetos públicos. A SCBA auxilia a prever se os benefícios sociais de uma política ou investimento supera os custos e compara os custos e benefícios entre alternativas. A SCBA inclui os efeitos do ecossistema ao estimar a mudança no bem-estar social devido às mudanças no ecossistema.

Enquanto a SCBA fornecerá o conhecimento a respeito dos benefícios sociais gerais do desenvolvimento de um porto “sem-impacto”, a análise financeira focará no valor dos elementos dos portos e nas operações portuárias a partir de uma perspectiva de negócios de cada *stakeholder* envolvido no investimento. Empresas focarão nos casos de negócios considerando os riscos do investimento e na avaliação dos futuros fluxos de caixa. O conhecimento das empresas será muito importante para a possibilidade de implementar o porto “sem-impacto”.

Os casos positivos de negócios não necessariamente implicam em uma análise de custo-benefício social positiva, e vice-versa. Um investimento pode ser benéfico para os investidores, mas os efeitos negativos sobre o ecossistema podem resultar

em um efeito social e cultural negativo. O contrário também é verdadeiro, um projeto com uma análise de custo-benefício social positiva não necessariamente resulta em um bom investimento para os *stakeholders* envolvidos.

Para avaliar os aspectos do bem-estar relacionados ao ecossistema costeiro, empregando a abordagem de serviços ecossistêmicos, onde as funções existentes no ecossistema são traduzidas em benefícios aos seres humanos, a Figura 26 exemplifica alguns dos serviços ecossistêmicos disponíveis mais comuns.

Figura 26 – Serviços ecossistêmicos comuns aos ecossistemas costeiros

Fonte: (SCHIPPER, VERGOUWEN E MINDERHOUD, 2015)

Os efeitos quanto ao bem-estar social do desenvolvimento portuário influenciando sobre os serviços ecossistêmicos dependem da forma do desenvolvimento e da abundância e qualidade dos serviços disponíveis no local de implantação. Podem ser analisados alguns dos efeitos sobre os serviços de forma generalizada.

Quanto às matérias primas, sabe-se que a construção de bacias e quebra-mares reduz as correntes, o que aumenta o processo de sedimentação de areias e lodos. A areia pode ser empregada para a construção de obras públicas, alimentação artificial de praias e construções rodoviárias (MAES E SCHRIJVERS, 2005). A sedimentação de areia próxima ao porto oferece melhores possibilidades de extração. Entretanto, o material depositado deve atender a certas condições de qualidade. O porto pode influenciar de forma negativa a qualidade da areia. De maneira geral, o porto provavelmente não terá um efeito significativo sobre esse serviço ecossistêmico.

Conclui-se que os seres humanos podem extrair a mesma quantidade de areia com ou sem a presença portuária, entretanto, ao aumentar o processo de sedimentação, o porto oferece uma localização de extração mais acessível, o que reduz os custos de extração. Visto que os custos envolvidos são majoritariamente os custos de transporte (BRIENE, 2011), a redução dos custos pode ser substancial. Entretanto, os sedimentos portuários costumam estar contaminados com POPs, PCBs, PAHs, TBT, óleos minerais e metais, o que limita o uso comercial. Portanto, o valor dos benefícios da sedimentação adicional é baixo, seja pelo baixo aumento relativo do processo de sedimentação, seja pela limitação no uso comercial. No caso da possibilidade de venda do material dragado, o valor em potencial pode ser estimado pela redução dos custos de dragagem.

O desenvolvimento portuário tem o potencial de remover ou perturbar o habitat, podendo reduzir a qualidade da água ou dos sedimentos, dependendo da localização e medidas mitigadoras. Assim, em locais que contenham habitats com funções de berçários, os impactos decorrentes do desenvolvimento portuário podem afetar negativamente o estoque de peixes e outros animais. Adicionalmente, a introdução de espécies alóctones invasivas, através da água de lastro, tais como águas-vivas, pode aumentar a competição por alimentos e outros recursos naturais, podendo ter impacto sobre o estoque de peixes (WALSH, 2015). De maneira geral, espera-se que o porto diminua esse serviço ecossistêmico.

Espera-se que o porto reduza o serviço ecossistêmico ligado aos frutos do mar, entretanto deve-se analisar o grau de redução, pois um pequeno decréscimo pode ter efeitos locais, afetando os pescadores locais e reduzindo o *turnover* dos pescadores, contudo, ao construir um porto em uma região com importante função de berçário ou rota de migração, pode-se afetar os pescadores em larga escala, afetando os custos de mercado de frutos do mar.

Quanto à proteção contra enchentes, o ecossistema costeiro pode fornecer a função de proteção natural. Estruturas como bancos de areia, dunas e ecossistemas de terras úmidas, como pântanos, mangues, marismas e vegetações costeiras podem atenuar ondas, e, como resultado, contribuir para a proteção contra enchentes. Em caso de remoção dessas estruturas ou ecossistemas para a implantação de um porto, a proteção natural local será reduzida, contudo a construção de estruturas de proteção pode auxiliar na proteção artificial da costa. Assim, com exceção do caso da presença

de estruturas de proteção, assume-se que esse serviço ecossistêmico será reduzido devido à construção ou expansão portuária.

Quanto às consequências de uma enchente em potencial, se uma área densamente povoada sofrerá danos devido à maior suscetibilidade a enchentes ocasionada pela construção de um porto, o impacto sobre o bem-estar social será negativo. Este impacto pode ser visto como o efeito negativo do decréscimo da função ecossistêmica de proteção contra enchentes. Entretanto, em áreas sem estruturas naturais de proteção contra enchentes, o desenvolvimento portuário pode aumentar a proteção contra enchentes de maneira artificial, tendo efeito positivo sobre o bem-estar social.

Quanto à qualidade da água, os organismos do ecossistema costeiro possuem o potencial de influenciar de maneira positiva a qualidade da água, devido a sua habilidade de transformar e armazenar nutrientes. Os portos podem ter um efeito negativo sobre a qualidade da água devido a acidentes, substâncias anti-incrustantes, águas de lastros, descargas orgânicas, perda de habitat de bentos e ressuspensão de sedimentos. Portanto, assume-se um decréscimo na qualidade da água decorrente do desenvolvimento portuário.

O novo porto poderá ser fonte poluidora e de eutrofização e, além disso, o porto reduzirá a função de ciclagem de nutrientes. Assim, haverá redução da qualidade d'água, o que influenciará o turismo, saúde humana e os pescadores. O uso do ecossistema costeiro determinará os impactos gerados. Quanto ao turismo, o The World Bank (2012) estimou que houve uma perda de 940 milhões de euros anuais devido a poluição da água nas Filipinas. Em caso de perda de qualidade da água afetar o estoque de peixes, haverá impactos negativos sobre os pescadores. Adicionalmente, a exposição a doenças endêmicas e altas concentrações de nutrientes podem ser prejudicial à saúde humana. Caso o porto seja desenvolvido em água doce, poderá ocorrer impacto sobre a qualidade da água para consumo humano, o que pode prejudicar a produtividade do setor agrícola (UNEP, 2011).

A respeito dos processos erosivos e de sedimentação, a morfologia de um ecossistema costeiro em seu estado natural está em equilíbrio. O desenvolvimento portuário pode interromper este equilíbrio (DELTARES, 2014). Os efeitos sobre o balanço de sedimentos dependerão das características do porto. Adicionalmente, alguns organismos são capazes de criar estruturas que estabilizam sedimentos leves

e o distúrbio do habitat onde se encontram pode reduzir a sua capacidade. De maneira geral, espera-se um distúrbio sobre os processos naturais de erosão e sedimentação.

Quanto aos locais sujeitos aos processos erosivos e de sedimentação, poderão ocorrer efeitos sobre o balanço de sedimentos, como a erosão de uma praia turística, com impacto negativo muito maior do que os mesmos efeitos erosivos em uma praia desértica. Nota-se que o serviço ecossistêmico relacionado ao processo de erosão e sedimentação é pouco afetado em costas rochosas.

Quanto à regulação climática, sabe-se que mangues, pradarias de ervas marinhas e algas podem sequestrar carbono em ecossistemas costeiros. O distúrbio destes ecossistemas pode afetar o sequestro e consequentemente, o enterro de carbono. Embora a eutrofização em portos possa resultar em um aumento temporário do sequestro de carbono, no longo-prazo a estabilidade do ecossistema será reduzida.

3.4.5 Manutenção de biodiversidade

A perda de habitat e mudanças nas condições ambientais (como a redução a qualidade da água, por exemplo), devidas ao desenvolvimento portuário, pode reduzir a biodiversidade. O porto também pode servir de entrada para espécies alóctones. Entretanto, o porto pode fornecer novas habitats que favoreçam a biodiversidade.

Corais, mangues e pradarias de ervas marinhas sustentam uma maior diversidade do que zonas pelágicas (regiões oceânicas onde vivem normalmente seres vivos que não dependem dos fundos marinhos). Assim, o efeito no bem-estar da perda desses tipos de ecossistemas também seria maior, contudo, os seres humanos valoram as diferentes espécies marinhas de forma distinta. Resumidamente, o valor que as pessoas atribuem a cada espécie, somado ao valor dos alimentos fornecidos pelos serviços ecossistêmico determinam o impacto sobre o bem-estar social.

Os ecossistemas costeiros são lugares muito populares de recreação. A redução da biodiversidade (principalmente de espécies mais carismáticas, como as baleias e os golfinhos), da qualidade da água e de área para a recreação ocasionada

pelo desenvolvimento portuário, prejudicarão as possibilidades recreativas. Além disso, o porto pode reduzir o valor de amenização da paisagem. A melhora na acessibilidade pode, contudo, atrair um maior número de pessoas para a área próxima ao porto. O desafio encontra-se no desenvolvimento de um plano de gestão ecossistêmica que considere as possibilidades recreativas, levando-se em conta as opções como pesca recreativa e turismo portuário.

O porto poderá ocupar uma área que do contrário teria uso recreacional. Se a área já tivesse este uso, o porto terá impactos negativos e poderá ter maior ou menor efeito dependendo do número de locais recreacionais alternativos.

Há ainda dois tópicos importantes que são tratados separadamente, por não estarem associados a serviços ecossistêmicos: poluição atmosférica e sonora.

A infraestrutura portuária é uma fonte de poluição atmosférica. É esperado um aumento deste tipo de poluição com a construção ou expansão portuária. Entretanto, a atividade portuária também está associada à redução do transporte terrestre, o que reduz a poluição atmosférica. A ausência do desenvolvimento portuário tende a elevar a poluição atmosférica. O efeito positivo ou negativo sobre a poluição do ar dependerá do peso de cada ponto.

Grandes progressos foram alcançados quanto à melhora da qualidade do ar em regiões portuárias ocasionada pela redução de emissões. Por exemplo, o Porto de Rotterdam implementou um grande número de leis e medidas para melhorar a qualidade do ar, como a gestão dinâmica do tráfego para reduzir congestionamentos foi incorporada no projeto da área do porto. Os efeitos sobre o bem-estar social decorrente da poluição atmosférica irão depender do tipo de poluição e da exposição humana. Os efeitos negativos ocasionados pela piora da qualidade do ar podem afetar de forma crônica e aguda a saúde humana.

Quanto à poluição sonora, a construção ou expansão portuária ocasionará em um provável acréscimo. Entretanto, grande progresso foi alcançado quanto a este aspecto. Por exemplo, no Porto de Rotterdam, pavimentos de baixo-ruído foram implementados. O porto também construiu uma barreira acústica para reduzir o nível de ruído no centro da cidade de Rotterdam.

Os efeitos sobre o bem-estar social dependerão do volume e exposição aos ruídos. A poluição sonora pode prejudicar a saúde humana, ocasionando incômodo,

perturbação do sono e doenças cardíacas. Os efeitos negativos podem ser estimados considerando parâmetros de perda de produtividade e redução da qualidade de vida.

Esses princípios ilustram como os possíveis efeitos negativos sobre o ecossistema costeiro podem ser traduzidos em efeitos sobre o bem-estar social, tradução esta realizada por meio do conceito de ecossistema costeiro. Enquanto o desenvolvimento portuário contribuirá para o aumento generalizado do bem-estar social, estes princípios ilustram o potencial negativo do desenvolvimento portuário tradicional sobre o ecossistema costeiro e sobre os agentes envolvidos do ecossistema costeiro, como pescadores, companhias de dragagem e os habitantes locais. Por outro lado, para que seja possível financiar o empreendimento portuário deve haver um aspecto positivo de negócio. Quando se trata de um porto público, o governo pode subsidiar o desenvolvimento portuário, enquanto para um porto privado, sem o retorno adequado sobre o investimento ou em caso de riscos desconhecidos ou expressivos, torna-se difícil atrair os investimentos necessários. O porto “sem-impacto” proposto considera os efeitos negativos sobre o meio ambiente e sobre os agentes (DE VRIEND et.al, 2014). O desenvolvimento do porto sob gestão ecossistêmica é mais dispendioso, tanto para a execução quanto para a operação. Governos e agências reguladoras possuem a oportunidade de facilitar a implementação do porto ‘sem-impacto’ através de leis, regulações e instrumentos financeiros (subsídios, impostos, e garantias quanto a incertezas). O envolvimento do setor privado, por outro lado, pode contribuir significativamente para desenvolver soluções inovadoras. Assim, o desenvolvimento portuário pode ser estimulado através de um *positive branding*, condicionalidade de empréstimos e cooperação entre governos e iniciativa privada.

3.5 PORTO CONCENTRADOR DE CARGA

Em sua pesquisa para gerar um sistema de informações dos indicadores que configuram o porto concentrador de carga (*hub port*), Moreira (2009) denomina que portos concentradores de carga são as estruturas físicas que dão ênfase às atividades de transbordo de contêiner realizadas entre os transportes transoceânicos, costeiro e de cabotagem. Esses portos são internacionalmente conhecidos pelos seguintes benefícios: (I) contribuição para o aumento do comércio; (II) economia do ciclo e nas

escalas dos navios e (III) melhores resultados energéticos e ambientais que ocorrem quando o transporte costeiro substitui o terrestre”.

A impossibilidade de realizar a plena carga de grandes embarcações, isto é, a operação com peso morto, provoca aumento de fretes que são repassados para o custo final das mercadorias comercializadas. Para permitir a plena carga dos navios e, conseqüentemente, tornar o transporte mais econômico, deve-se fornecer portos dotados de infraestrutura e superestrutura capazes de descarregar e embarcar, ao menos, grande parte da carga das embarcações, característica encontrada nos portos concentradores. Observa-se então a otimização de carregamento e a redução do ciclo de viagem dos navios, resultando em ganhos de escala e redução dos custos de transportes.

Segundo Ballou (2003), citado por Moreira, define-se um porto concentrador quando os clientes não desejam comprar em quantidade suficientemente grande para gerar entregas com carga completa, e empregam uma estratégia alternativa – suprir através de um sistema de depósitos. Isto é motivado pela redução dos custos de distribuição e pela melhoria do nível de serviço oferecido.

Como apontado por Alfredini, Arasaki e Moreira (2014), uma das maiores dificuldades para o intercâmbio comercial dos países do Atlântico Sul com os demais continentes é a distância econômica aos principais polos comerciais globais do Hemisfério Norte. Assim, atualmente não é possível encontrar um exemplo de porto concentrador no Atlântico Sul, apesar de se observar diversos exemplos no Leste da Ásia, como o Porto de Shangai, Porto de Singapura e Porto de Busan), na Europa (como os portos de Rotterdam, Antuérpia e Hamburg) e na América do Norte (tais como os portos de Los Angeles e Long Beach). Os mesmos autores, entretanto, observam que o Porto de Santos detém o melhor resultado na soma dos requisitos de porto concentrador de carga no Atlântico Sul. Somente como referência, o Porto de Shangai, movimentou 43,5 MTEUs em 2020, tendo uma média de 18.000 caminhões e 30 navios contêineres de grande porte carregando e descarregando diariamente, mantendo-se há 11 anos em primeiro lugar no mundo.

4 ESTUDO DE CASO PARA O PORTO DE SANTOS

O Capítulo 4 aborda a aplicação dos conceitos contemporâneos e teóricos apresentados no Capítulo 3 ao estudo de caso do Porto de Santos, com a proposição conceitual que se denominou SOOPS (*Santos Offshore-Onshore Port System*), que consiste em instalações portuárias em cotas de 17,00 m (CHM-DHN-Marinha). A proposta compõe-se de quebra-mar flexível para o abrigo das ondas (de parede vertical de caixão em concreto armado), inovação tecnológica na transferência de contêineres sem a necessidade de caminhões, via monotrilhos automatizados, com mecanismos de sustentação de contêineres suspensos e transbordo hidroviário pelo princípio LASH do terminal *offshore* para o terminal *onshore* empregando embarcações de pequeno porte (com duas chatas embarcadas), denominados *Mama Vessels*.

4.1 PORTO DE SANTOS E SEU PIONEIRISMO NA HISTÓRIA PORTUÁRIA BRASILEIRA

A matriz de amarração proposta na Figura 4 indica a orientação desta pesquisa a qual propõe a transição do atual modelo de Conflito contra a Natureza (*Fighting against Nature*) à filosofia de Construir com a Natureza (*Building with Nature*) para o Porto de Santos. Para tanto, este capítulo apresenta os resultados das abordagens de Engenharia Contemporânea (Capítulo 2) com o referencial teórico de vanguarda do Capítulo 3. O estudo de caso para o Porto de Santos e a proposição de modelo inovador de transferência de carga, denominado SOOPS - *Santos Offshore-Onshore Port System*, constitui a principal contribuição desta tese para o desenvolvimento sustentável do maior porto nacional para a Século XXI.

Muitos autores relatam que a história dos portos brasileiros teve a primeira grande inflexão no ano de 1808, com a vinda da Família Real Portuguesa para o Brasil e a decretação da Abertura dos Portos às Nações amigas, através da Carta Régia promulgada por D. João VI. Em 1810, criaram-se os postos alfandegários, com o objetivo de taxar as mercadorias que eram movimentadas entre os portos estratégicos e monopólio da Coroa. Nos anos seguintes, decretou-se a “Lei das Docas”, que previa a concessão à iniciativa privada a exploração dos portos organizados. Esse fato foi

motivado pela necessidade de melhorar as instalações portuárias, que tinham um crescimento significativo na movimentação de mercadorias (ARAUJO, 2013).

No ano de 1888, abriu-se a concorrência para a privatização dos portos, sendo o Porto de Santos o primeiro a ter a administração nesta modalidade. A partir dessa concessão, os portos assumiram um papel relevante para a expansão econômica do País, passando a ser instituições imprescindíveis para o desenvolvimento nacional.

O processo de organização e concessões dos portos se manteve em ritmo de crescimento, mesmo com a mudança na estrutura de administração política do País, que passou pelo período chamado de Estado Novo, em 1937, instituído por Getúlio Vargas. O foco das políticas de desenvolvimento da nação brasileira, durante o Plano de Metas lançado por Juscelino Kubitschek, promoveu maior crescimento das indústrias automobilísticas e de infraestruturas para o modal rodoviário em detrimento do modal aquaviário.

Em 1975, o Governo brasileiro criou uma holding chamada Empresa de Portos do Brasil S.A. – Portobrás, que representava o interesse em centralizar as atividades portuárias, consolidando-se, assim, um modelo monopolista estatal para o sistema portuário nacional. Na década de 1990, esse modelo entra em crise em decorrência do aprofundamento do paradigma neoliberal (MACHADO, 2012). Durante esse período, a estrutura portuária nacional passa por crises, principalmente com a dissolução da Portobrás, pela lei nº 8029/90. O preenchimento dessa lacuna na organização administrativa dos portos, culminou com a aprovação da Lei 8630/93, Lei de Modernização dos Portos.

Com advento dessa lei, o sistema portuário passou a ser “... constituído pelos portos organizados, como seus complexos de instalações portuárias e os terminais de uso privativo.” (PORTO, 2007). Assim, seguindo uma visão econômica liberal, evidencia-se a saída do Estado da participação direta no setor da infraestrutura portuária, estabelecendo-se novas práticas, como o arrendamento e crescimento da concorrência. Essa lei viabilizou os grandes volumes de investimento no setor, a modernização dos equipamentos de movimentação de cargas, automação das operações, aumento da produtividade e a possibilidade da redução dos custos em todos os setores envolvidos no processo (ARAUJO, 2013).

Em 2007, criou-se a Secretaria de Portos da Presidência da República o que evidenciou a intenção do Governo Federal em ter, efetivamente, uma visão desenvolvimentista para o setor portuário nacional. Entre as competências e

atribuições da Secretaria havia a formulação de políticas e diretrizes que configurassem o setor dos portos, além de executar medidas e projetos de apoio ao desenvolvimento da infraestrutura portuária.

Com relação às metas definidas pela Secretaria, destacou-se o Programa Nacional de Dragagens, que possibilitou o aprofundamento de diversos portos brasileiros, com o objetivo de permitir o recebimento de navios de maior calado. Além do programa de dragagem, destacou-se também o Plano Nacional de Logística Portuária que priorizou investimentos públicos para viabilizar o conceito dos portos concentradores de cargas, que é uma tendência operacional para a cadeia logística dos portos mundiais. Somado a esses programas, teve-se uma consolidação de marcos regulatórios que promoveram um estímulo à livre iniciativa e na atração de investimentos privados para o setor portuário (ARAUJO, 2013).

O Porto de Santos foi oficialmente inaugurado no dia 2 de fevereiro de 1892, com a entrega do primeiro trecho de 260,00 m de cais construído na área do Valongo pela então Companhia Docas de Santos (CDS), fundada em 1.890. Essa inauguração permitiu o advento de mudanças significativas para a cidade, com a substituição de estruturas rudimentares portuárias, como trapiches e pontes de madeira Figura 27, por muralhas de pedra e pontes mais robustas. Iniciava-se, assim, a construção de novos armazéns e conexões para uma via férrea para compor as obras do recém porto organizado. (CODESP, 2017).

Com a expansão das áreas de cultivo de café, por todo o Planalto Paulista até alguns locais na Baixada Santista, foi necessária a ampliação e modernização das instalações portuárias pelas autoridades para aumentar o escoamento e a escala de exportação desse produto.

Desde o ano de 1892, o Porto de Santos continuou expandindo-se, percorrendo todos os ciclos de mudanças e oscilações econômicas do país, com as diversas variações nos tipos de cargas movimentadas, desde açúcar, café laranja, algodão, carvão, sucos cítricos, sojas, adubo, grânéis líquidos diversos, veículos até o uso de contêineres.

No ano de 1911, a Companhia Docas de Santos começava a substituir os guindastes a vapor por equipamentos de tecnologia mais avançada, constituídos de combinadores e transmissões elétricas com grande capacidade de carga para a época, entre 1,5 t e 30 t. Nos anos de 1940, decidiu-se expandir as instalações no entorno do intercâmbio ferroviário da região do Valongo para favorecer a logística com

o transporte ferroviário, tendo em vista o aumento esperado da movimentação de carga (MOREIRA, 2009).

Figura 27 – Porto de Santos-Praia do Consulado no início do Século XIX

Fonte: Benedito Calixto- óleo sobre tela. Obtido de Santos Port Authority (2021)

Diante da nova fase, marcada pela ascensão das grandes exploradoras de petróleo, implantou-se o Terminal da Alamoia, com uma linha de oleoduto submersa de 1.150 m de extensão, ligando o trecho do Saboó à ilha de Barnabé.

Em meados do Século XX, a CDS veio o desafio de aumentar a profundidade do canal do estuário. O porto recebeu duas dragas de alcatruzes e diversos batelões, que operaram até o final do Século XX. (MOREIRA, 2009). Além de desenvolver atividades de dragagem, o porto teve um aumento significativo na movimentação de carga nos pátios, atingindo-se um grande volume de carga geral de cabotagem. Nesse momento, iniciavam-se diversos estudos que tinham por objetivo ampliar o cais de acostagem de 5 km para 11 km, na cota – 11,00 m (CHM-DHN-Marinha) pelo aumento do calado dos navios.

No início dos anos 1960, o Porto passava a empregar equipamentos de maior tecnologia e operar com diversos aparelhos e instalações de grande porte, como empilhadeiras, guindastes, carretas, locomotivas, tanques, pátios, armazéns, embarcadores e silos.

Em 1969, diante de um cenário marcado pela instituição do governo militar, iniciou-se o processo de fragilização técnico-administrativo do Porto de Santos, em decorrência das primeiras intervenções no sistema portuário. Essas intervenções, feitas por intermédio de uma comissão, deformaram o processo de desenvolvimento do Porto de Santos.

Nos anos seguintes, o porto teve um progresso no desenvolvimento com o incremento na movimentação de contêineres, dos navios *roll-on roll-off* e *Panamax* de 11,00 m de calado. O aumento na demanda e na movimentação de cargas gerou a necessidade de expandir as áreas de terminais especializados para cada tipo de mercadoria, como contêineres, fertilizantes, grãos e farelos.

Em 1980, com o término do período de concessão da exploração do porto, o Governo Federal criou a Companhia Docas do Estado de São Paulo – CODESP, que consistia em uma empresa de economia mista, de capital majoritário da União. Assim, teve início de um ciclo de sucessivas gestões portuárias exercidas por vários grupos partidários (MOREIRA, 2009).

Em 2019 a Autoridade Portuária do Porto de Santos passa a adotar o nome SPA – Santos Port Authority com a finalidade de dissociar-se no ônus burocrático e negativo que carregava o antigo nome de Docas. Esse movimento coloca o Porto de Santos alinhado com os princípios de evolução e transparência gerencial similar às principais autoridades portuárias do mundo, como por exemplo, a Port of Rotterdam Authority.

Figura 28 – Visão geral do Porto de Santos e algumas vistas do porto

Fonte: autor (2020)

4.2 PORTO DE SANTOS E SUA RELEVÂNCIA NACIONAL

De acordo com a publicação estatística da Autoridade Portuária (Santos Port Authority, 2020), o Porto de Santos atingiu a histórica marca de 146,5 Mt no ano de 2020 (janeiro a dezembro), com 4,23 MTEUs. A Figura 29 apresenta a evolução da movimentação total de carga no Porto de Santos. Nota-se, nos dados de 2011, que o Porto de Santos movimentou 97,2 Mt, o que representou 10,9% da movimentação total do Brasil naquele ano (887,4 Mt - ver Quadro 2). Em 2019, o Porto de Santos movimentou 134,0 Mt o que representou 12,1% em relação à movimentação nacional (1.104,06 Mt - ver Quadro 2). Na última década, o principal porto do Brasil não aumentou significativamente sua participação no cenário nacional, que cresceu em torno de 24,4% (ver Quadro 2). Isso reflete o aumento da competição de outros portos nacionais, sobretudo buscando maior eficiência das instalações mais modernas, assim como as limitações de acessibilidades (terrestres e náuticas) do Porto de Santos.

A Tabela 15 apresenta a evolução dos tipos e movimentação de cargas no Porto de Santos de 2011 a 2020 (sem a contabilização de dezembro/2020), com a distinção entre navegação de longo curso e cabotagem. Ressalte-se que os valores totais desta tabela não representam a movimentação total do porto, pois apenas identificam carga geral, granéis sólidos e granéis líquidos. A evolução de movimentação geral do Porto de Santos representa 33,5% entre 2011 e 2020. Ao se analisar a evolução entre navegação de longo curso e cabotagem, nota-se crescimentos similares; 33,4% e 34,3%, respectivamente. Ao se comparar as operações de importação e exportação, claramente o Porto de Santos intensificou sua vocação de exportador na última década, passando de 58,1 Mt/ano em 2011 para 98,7 M t/ano em 2020, variação positiva de 40,8%. Já para importação, o aumento relativo de 12,4%, de 31,4 Mt/ano em 2011 para 35,9 Mt/ano, não acompanhou o crescimento relativo no porto. Explica-se esse cenário pelos significativos incrementos nas exportações de commodities agrícolas e granéis líquidos.

Figura 29 – Movimentação total de carga no Porto de Santos de 2011 a 2020
(em claro o total do ano e em escuro o acumulado até novembro)¹⁵

Fonte: (SANTOS PORT AUTHORITY, 2020)

A operação de contêineres, foco principal desta pesquisa, se mostrou com dinâmica diferenciada em relação às operações graneleiras. A Tabela 16 apresenta os dados específicos para contêineres em 2019. Ressalta-se a supremacia da navegação de longo curso (com navios maiores) em relação à navegação de cabotagem. Destaca-se o montante de 3,17 MTEUs (44,0 Mt de contêineres cheios) para a movimentação total em 2011. Ao se compararem os valores com os dados nacionais (84,3 Mt em 2011- Quadro 3), verifica-se que o Porto de Santos representou em 2011 aproximadamente 48% da movimentação de contêineres do país.

As características das embarcações que escalam o Porto de Santos são relevantes para o entendimento das projeções futuras. A Tabela 17 apresenta a baixa representatividade das embarcações com calado acima de 12,00 m (360 atracções

¹⁵ Para o ano de 2020, o total de 145,7 milhões de tonelada foi uma estimativa, uma vez que aquela pesquisa finalizou antes do fechamento oficial da Autoridade Portuária em 2020 a qual não considerou dezembro/2020. Os dados consolidados de 2020, divulgados em janeiro de 2021 registraram 146,5 Mt.

dentre o total de 4.498 no ano de 2020), o que evidencia a limitação de infraestrutura do porto para a recepção de grandes embarcações.

Tabela 15 – Movimentação dos tipos de carga (em t) e tipo de navegação no Porto de Santos de 2011 a 2020 (não considera o mês de dezembro/2020)

ESPECIFICAÇÃO		IMPORTAÇÃO				EXPORTAÇÃO				TOTAL			
		Carga Geral	Sólidos a Granel	Líquidos a Granel	Soma	Carga Geral	Sólidos a Granel	Líquidos a Granel	Soma	Carga Geral	Sólidos a Granel	Líquidos a Granel	Soma
L C O U N R G S O O	2011	13.168.901	10.890.744	3.709.640	27.769.285	17.159.810	29.682.046	5.320.193	52.162.049	30.328.711	40.572.790	9.029.833	79.931.334
	2012	13.302.641	9.654.712	2.725.678	25.683.031	18.646.888	35.325.092	5.986.066	59.958.046	31.949.529	44.979.804	8.711.744	85.641.077
	2013	15.086.366	10.153.356	2.624.977	27.864.699	19.383.898	41.361.498	6.233.999	66.979.395	34.470.264	51.514.854	8.858.976	94.844.094
	2014	14.303.476	9.606.411	2.837.156	26.747.043	19.656.506	37.935.775	4.769.997	62.362.278	33.959.982	47.542.186	7.607.153	89.109.321
	2015	13.740.038	7.753.446	3.155.773	24.649.257	20.624.500	44.947.052	4.839.671	70.411.223	34.364.538	52.700.498	7.995.444	95.060.480
	2016	12.513.144	7.347.631	4.545.742	24.406.517	20.123.998	43.011.041	4.337.814	67.472.853	32.637.142	50.358.672	8.883.556	91.879.370
	2017	14.290.748	8.096.352	5.211.776	27.598.876	22.569.199	51.144.305	4.305.071	78.018.575	36.859.947	59.240.657	9.516.847	105.617.451
	2018	15.333.448	8.850.906	4.773.945	28.958.299	24.104.737	49.621.240	4.742.400	78.468.377	39.438.185	58.472.146	9.516.345	107.426.676
	2019	14.674.083	9.905.844	5.373.472	29.953.399	23.738.235	50.932.033	5.207.504	79.877.772	38.412.318	60.837.877	10.580.976	109.831.171
	2020	13.862.805	10.392.920	5.993.044	30.248.769	25.318.328	59.294.936	5.136.960	89.750.224	39.181.133	69.687.856	11.130.004	119.998.993
C A B O T A G E M	2011	1.095.201	1.241.157	1.293.774	3.630.132	1.436.668	297.535	4.231.228	5.965.431	2.531.869	1.538.692	5.525.002	9.595.563
	2012	1.326.715	1.502.293	1.370.646	4.199.654	1.498.236	403.024	4.228.701	6.129.961	2.824.951	1.905.317	5.599.347	10.329.615
	2013	1.111.400	1.506.244	1.315.974	3.933.618	1.882.376	305.454	4.615.453	6.803.283	2.993.776	1.811.698	5.931.427	10.736.901
	2014	2.656.189	840.991	1.349.080	4.846.260	3.245.945	141.033	4.794.249	8.181.227	5.902.134	982.024	6.143.329	13.027.487
	2015	3.443.410	701.998	1.333.646	5.479.054	4.108.854	73.435	5.093.932	9.276.221	7.552.264	775.433	6.427.578	14.755.275
	2016	3.125.995	473.903	1.269.596	4.869.494	4.187.168	130.318	4.362.763	8.680.249	7.313.163	604.221	5.632.359	13.549.743
	2017	3.505.964	497.315	1.540.704	5.543.983	4.011.644	145.365	4.636.727	8.793.736	7.517.608	642.680	6.177.431	14.337.719
	2018	4.141.608	621.206	1.684.680	6.447.494	4.057.496	149.439	4.235.477	8.442.412	8.199.104	770.645	5.920.157	14.889.906
	2019	4.566.858	448.538	1.384.749	6.400.145	3.955.701	79.757	3.531.832	7.567.290	8.522.559	528.295	4.916.581	13.967.435
	2020	3.986.651	509.830	1.121.568	5.618.049	3.797.725	291.339	4.902.365	8.991.429	7.784.376	801.169	6.023.933	14.609.478
T O T A L	2011	14.264.102	12.131.901	5.003.414	31.399.417	18.596.478	29.979.581	9.551.421	58.127.480	32.860.580	42.111.482	14.554.835	89.526.897
	2012	14.629.356	11.157.005	4.096.324	29.882.685	20.145.124	35.728.116	10.214.767	66.088.007	34.774.480	46.885.121	14.311.091	95.970.692
	2013	16.197.766	11.659.600	3.940.951	31.798.317	21.266.274	41.666.952	10.849.452	73.782.678	37.464.040	53.326.552	14.790.403	105.580.995
	2014	16.959.665	10.447.402	4.186.236	31.593.303	22.902.451	38.076.808	9.564.246	70.543.505	39.862.116	48.524.210	13.750.482	102.136.808
	2015	17.183.448	8.455.444	4.489.419	30.128.311	24.733.354	45.020.487	9.933.603	79.687.444	41.916.802	53.475.931	14.423.022	109.815.755
	2016	15.639.139	7.821.534	5.815.338	29.276.011	24.311.166	43.141.359	8.700.577	76.153.102	39.950.305	50.962.893	14.515.915	105.429.113
	2017	17.796.712	8.593.667	6.752.480	33.142.859	26.580.843	51.289.670	8.941.798	86.812.311	44.377.555	59.883.337	15.694.278	119.955.170
	2018	19.475.056	9.472.112	6.458.625	35.405.793	28.162.233	49.770.679	8.977.877	86.910.789	47.637.289	59.242.791	15.436.502	122.316.582
	2019	19.240.941	10.354.382	6.758.221	36.353.544	27.693.936	51.011.790	8.739.336	87.445.062	46.934.877	61.366.172	15.497.557	123.798.606
	2020	17.849.456	10.902.750	7.114.612	35.866.818	29.116.053	59.586.275	10.039.325	98.741.653	46.965.509	70.489.025	17.153.937	134.608.471

Fonte: (SANTOS PORT AUTHORITY, 2020)

Tabela 16 – Movimentação acumulada de contêineres no Porto de Santos (em TEUs e t), por terminal, em 2019

Local	Santos Brasil ¹		Libra ²		Ecoporto ³		Rodrimar		DP World Santos ⁴		Brasil Terminais		Demais Pontos		Total		
	Quant	Peso	Quant	Peso	Quant	Peso	Quant	Peso	Quant	Peso	Quant	Peso	Quant	Peso	Quant	TEU	Peso
LONGO CURSO																	
Cheios	20	230.823	4.642.568	17.377	383.340	5.368	133.749	-	-	92.263	1.985.413	316.167	6.917.124	873	22.663	662.871	14.084.857
	40	369.009	8.044.857	28.572	687.275	2.212	57.277	-	-	154.924	3.491.844	408.823	9.479.586	676	17.518	964.216	21.778.357
	Soma	599.832	12.687.425	45.949	1.070.615	7.580	191.026	-	-	247.187	5.477.257	724.990	16.396.710	1.549	40.181	1.627.087	35.863.214
Vazios	20	37.174	82.697	6.802	15.018	2.893	6.582	-	-	33.823	77.125	78.505	159.375	288	665	159.485	341.462
	40	112.943	446.967	7.854	31.084	1.065	4.469	7	60	57.083	232.629	145.747	548.703	320	1.566	325.019	1.265.478
	Soma	150.117	529.664	14.656	46.102	3.958	11.051	7	60	90.906	309.754	224.252	708.078	608	2.231	484.504	1.606.940
Total	20	267.997	4.725.265	24.179	398.358	8.261	140.331	-	-	126.086	2.062.538	394.672	7.076.499	1.161	23.328	822.356	14.426.319
	40	481.952	8.491.824	36.426	718.359	3.277	61.746	7	60	212.007	3.724.473	554.570	10.028.289	996	19.084	1.289.235	23.043.835
	Soma	749.949	13.217.089	60.605	1.116.717	11.538	202.077	7	60	338.093	5.787.011	949.242	17.104.788	2.157	42.412	2.111.591	37.470.154
CABOTAGEM																	
Cheios	20	77.042	1.752.432	263	5.134	-	-	-	-	12.036	284.475	44.994	1.070.755	94	2.095	134.429	3.114.891
	40	137.071	3.206.433	2.383	38.358	2	120	-	-	66.251	1.393.952	16.642	384.903	272	6.732	222.621	5.030.498
	Soma	214.113	4.958.865	2.646	43.492	2	120	-	-	78.287	1.678.427	61.636	1.455.658	366	8.827	357.050	8.145.389
Vazios	20	18.620	41.231	2.738	6.096	-	-	-	-	7.342	16.722	21.380	43.738	51	113	50.131	107.899
	40	39.332	154.854	8.821	35.609	-	-	-	-	6.103	25.126	12.954	48.029	100	370	67.310	263.988
	Soma	57.952	196.085	11.559	41.704	-	-	-	-	13.445	41.848	34.334	91.767	151	483	117.441	371.887
Total	20	95.662	1.793.663	3.001	11.229	-	-	-	-	19.378	301.197	66.374	1.114.493	145	2.208	184.560	3.222.790
	40	176.403	3.361.287	11.204	73.967	2	120	-	-	72.354	1.419.078	29.596	432.932	372	7.102	289.931	5.294.486
	Soma	272.065	5.154.950	14.205	85.196	2	120	-	-	91.732	1.720.275	95.970	1.547.425	517	9.310	474.491	8.517.276
TOTAL																	
Cheios	20	307.865	6.395.000	17.640	388.474	5.368	133.749	-	-	104.299	2.269.888	361.161	7.987.879	967	24.758	797.300	17.199.748
	40	506.080	11.251.290	30.955	725.633	2.214	57.397	-	-	221.175	4.885.796	425.465	9.864.489	948	24.250	1.186.837	26.808.855
	Soma	813.945	17.646.290	48.595	1.114.107	7.582	191.146	-	-	325.474	7.155.684	786.626	17.852.368	1.915	49.008	1.984.137	44.008.603
Vazios	20	55.794	123.928	9.540	21.113	2.893	6.582	-	-	41.165	93.847	99.885	203.113	339	778	209.616	449.361
	40	152.275	601.821	16.675	66.693	1.065	4.469	7	60	63.186	257.755	158.701	596.732	420	1.936	392.329	1.529.466
	Soma	208.069	725.749	26.215	87.806	3.958	11.051	7	60	104.351	351.602	258.586	799.845	759	2.714	601.945	1.978.827
Total	20	363.659	6.518.928	27.180	409.587	8.261	140.331	-	-	145.464	2.363.735	461.046	8.190.992	1.306	25.536	1.006.916	17.649.109
	40	658.355	11.853.111	47.630	792.326	3.279	61.866	7	60	284.361	5.143.551	584.166	10.461.221	1.368	26.186	1.579.166	28.338.321
	Soma	1.022.014	18.372.039	74.810	1.201.913	11.540	202.197	7	60	429.825	7.507.286	1.045.212	18.652.213	2.674	51.722	2.586.082	45.987.430

¹Antigo Tecon-1. ²Antigo Terminal 35 e 37. ³Antigo Tecondi. ⁴Antigo Embraport.

Fonte: (SANTOS PORT AUTHORITY,2020)

Tabela 17 – Características dos navios que atracaram no Porto de Santos em 2020 (não considera dezembro de 2020)

ESPECIFI- CAÇÃO	Longo Curso		Cabotagem		Total	
	No Mês	Desde Janeiro	No mês	Desde Janeiro	No Mês	Desde Janeiro
ESPÉCIE						
Carga Geral	166	1.688	28	334	194	2.022
Granéis Sólidos	104	1.419	1	12	105	1.431
Granéis Líquidos	61	522	24	259	85	781
Passageiros	-	42	-	30	-	72
Roll-on/Roll-off	18	177	-	1	18	178
Outros	-	1	1	13	1	14
Total	349	3.849	54	649	403	4.498
NATUREZA DA OPERAÇÃO						
Descarga	74	734	8	76	82	810
Embarque	117	1.459	15	165	132	1.624
Descarga e Embarque	158	1.613	30	365	188	1.978
Sem operar	-	43	1	43	1	86
Total	349	3.849	54	649	403	4.498

ESPECIFI- CAÇÃO	Longo Curso		Cabotagem		Total	
	No Mês	Desde Janeiro	No mês	Desde Janeiro	No Mês	Desde Janeiro
TRL						
Até 999	-	5	3	9	3	14
1.000 a 4.999	10	79	4	42	14	121
5.000 a 9.999	32	326	13	167	45	493
10.000 a 14.999	73	764	20	211	93	975
15.000 a 20.000	43	543	9	128	52	671
Acima de 20.000	191	2.132	5	92	196	2.224
Total	349	3.849	54	649	403	4.498
MAIOR CALADO (m)						
Até 6	6	78	4	29	10	107
de 6 a 8	113	1.375	15	208	128	1.583
de 8 a 10	82	924	24	277	106	1.201
de 10 a 12	103	1.119	10	128	113	1.247
Acima de 12	45	353	1	7	46	360

Fonte: (SANTOS PORT AUTHORITY,2020)

4.3 PORTO DE SANTOS E SUA INFRAESTRUTURA QUANTO A ESPAÇOS NÁUTICOS

De acordo com Santos Port Authority (2021) o canal do Porto de Santos é uma via aquaviária natural, que conta com 25 km de extensão, ao longo do qual foram construídos 16 km de cais. O canal permite a navegação de embarcações com até 340,0 m de comprimento (LoA) e calado máximo de 14,50 m. Ao todo são 60 berços de atracação – número que pode variar em função das dimensões médias dos navios – permitindo o acesso a 53 terminais. O canal estende-se da Baía de Santos, próximo das áreas de fundeio, até a região do Píer da Alamoia, onde termina o trecho sob jurisdição da SPA e tem início o Canal de Piaçaguera, que permite o acesso aos terminais privados do Tiplam e da Usiminas.

A Figura 30 identifica os tipos de cargas movimentadas pelos terminais do Porto de Santos. Identifica-se a limitação de áreas disponíveis na margem direita do estuário, o que representa o típico problema de portos estuarinos, onde as expansões ocorrem nas regiões mais rasas e demandam elevados serviços de dragagem em áreas de terras úmidas (manguezais).

Figura 30 – Visão geral do Porto de Santos e mapeamento dos tipos de cargas ao longo do Estuário de Santos

Fonte: (SANTOS PORT AUTHORITY, 2021)

A Figura 31 mostra os trechos de dragagem do canal de acesso do Porto de Santos. De acordo com Santos Port Authority (2021), o Trecho 1, Trecho 2 e Trecho 3 e parte do Trecho 4 (entre Valongo e BTP) permitem calado operacional entre 13,5 m e 14,5 m, de acordo com o nível da maré. O trecho 4, na região da Alamoia, apresenta calado operacional entre 12,70 m a 13,70 m.

Figura 31 – Visão geral do Porto de Santos e identificação dos trechos de acessibilidade náutica

Fonte: autor (2020)

Portanto, a atual condição de dragagem do porto permite atracação de navios contêineres da ordem de 8.000 TEUs a 9.000 TEUs, o que configura o Porto de Santos em posição desfavorável para as grandes embarcações (Quadro 6) quando comparado aos principais portos do mundo.

4.4 PORTO DE SANTOS E SEUS DESAFIOS

Segundo Moreira (2009), em 1969, o regime autoritário iniciou as primeiras intervenções no sistema portuário, fragilizando o processo técnico-administrativo do Porto de Santos, com a intervenção em seu desenvolvimento e deformação de sua configuração. O autor também aponta as sucessivas gestões portuárias exercidas por grupos partidários na Companhia Docas do Estado de São Paulo, CODESP, a partir de 1980. Tal quadro representa um estado oposto ao que se verifica nos grandes portos internacionais, nos quais existem excelentes referências administrativas e a aplicação de uma política de independência e qualificação da alta gerência dos portos, o que permite imunidade às interferências de grupos do Executivo e do Legislativo, permitindo que o conjunto de diretrizes adotado sirva de instrumento de eficiência administrativa, fortalecendo os programas e metas da Autoridade Portuária. Adicionalmente, alguns erros técnicos ainda não corrigidos e problemas atuais, tais como: ausência de área de retroporto na margem direita do estuário, localização distante do terminal de farelos e grãos, maior usuário de carga em vagões, em relação ao intercâmbio ferroviário; conflitos permanentes no leito carroçável expansão dos terminais de contêineres a montante aumentando a densidade de navegação pelo canal de acesso dragado.

Os problemas apresentados anteriormente representam um cenário oposto ao observado no cenário dos grandes portos concentradores internacionais, tal como apresentado pela pesquisa do mesmo autor.

Moreira (2009) aponta, por exemplo, que os portos concentradores, como Rotterdam, Shangai e Le Havre apresentam expansões direcionadas rumo ao mar, com o posicionamento dos terminais de contêineres para o primeiro ponto de acesso no mar, de forma a "... favorecer os grandes calados e a redução da densidade de navegação no interior do porto ..." e reduzir os impactos ambientais. Observa-se também que os portos concentradores atuais apresentam forte integração e harmonização entre portos e cidades, sendo possível observar amplos espaços em meio às atividades urbanas e portuárias, além de acessibilidade de carga que não ocasione interferência na vida urbana, favorecendo uma relação harmônica entre a cidade e o porto. "... Os terminais apresentam distribuição uniforme das instalações, grandes dimensões, tendências de concentrações de terminais com atividades

semelhantes e operações integradas e harmônicas.”. O sistema terrestre também costuma ser “... composto por amplas autoestradas, anéis viários, complexa rede de dutos e ferrovias e a integração multimodal.”.

O Porto de Santos está sujeito a problemas estuarinos típicos relacionados a dragagem, área para expansão, logística e harmonia com cidade e meio ambiente.

Os 25 km do canal de acesso ao Porto de Santos (Figura 32) possui cota mínima natural de - 8,00 m (CHM-DHN-Marinha). Atualmente sua cota média é de - 15,00 (CHM-DHN-Marinha) m, mantida com dragagens constantes de aproximadamente 5 Mm³/ano. Espera-se que em 2025 seja possível receber navios do tipo *Triple E*, que exigem uma cota do fundo do canal de - 17,00 m (CHM-DHN-Marinha), cujo aprofundamento representará um aumento de 112,5 % em relação à cota natural antes de qualquer dragagem que era de - 8,00 (CHM-DHN-Marinha) muito superior ao aumento de 50%, consuetudinariamente considerado como economicamente sustentável. A estimativa do volume de dragagem para esta cota mais profunda é de 7,5 Mm³/ano.

O canal de Santos deveria também ter o raio de sua curva externa (na Barra) aumentado de 1.800 m para 4.000 m, bem como ter uma sobrelargura seguindo os atuais critérios de dimensões da PIANC (2014b), a fim de se evitar o uso de rebocadores ainda no canal de acesso externo. Esse aumento da profundidade e reconfiguração do canal de acesso exigirá dragagens ainda mais intensas (ALFREDINI, ARASAKI E MOREIRA, 2015). De acordo com as estimativas dos autores, entre 1963 e 2010, foram gastos aproximadamente 500 milhões de dólares com dragagens no Porto de Santos. Ressalta-se que os custos ambientais relacionados às operações de dragagem, especialmente considerando a existência dos ecossistemas de manguezais na região, não estão incluídos neste valor.

Figura 32 – Visão geral do trecho interno do canal de acesso do Porto de Santos. Em primeiro plano a margem esquerda e ao fundo o morro da desembocadura

Fonte: autor (2020)

Quanto ao problema de arranjo portuário, destaca-se o crescimento desorganizado e sem planejamento do Porto de Santos. A região portuária é reconhecida por sua insegurança e mal estado de conservação, com falta de integração e harmonização entre a região portuária e os municípios de Santos e Guarujá. O contrário é observado nos grandes portos como Rotterdam, Shangai e Le Havre, com amplos espaços entre ambas as atividades urbanas e portuárias, o uso do transporte aquaviário – que, por sua vez, reduz o terrestre – e as acessibilidades de carga sem interferência na vida urbana, o que permite harmoniosa convivência e fomento entre as partes.

Quanto à logística, observa-se o crescente porte dos navios e a incapacidade do Porto de Santos em acompanhar este crescimento para navios acima de 10.000 TEUs e calados da ordem de 15,50 m. Além disso, a região enfrenta grandes congestionamentos nas proximidades do porto e tráfego intenso nas rodovias do Sistema Anchieta-Imigrantes, sobretudo em época de safras do agronegócio

4.5 SOOPS -CONCEPÇÃO PARA TERMINAIS DE CONTÊINERES

A proposta de desenvolvimento sustentável em longo-prazo para o Porto de Santos baseou-se na fundamentação teórica denominada Porto Sustentável. A partir dos conceitos pesquisados nas escolas europeias, propõe-se que as próximas décadas do principal porto da América Latina sejam planejadas com o tripé: i) Porto Flexível, ii) Construir com a Natureza e iii) Porto do Futuro. Desta maneira, apresenta-se o SOOPS, que corresponde a uma concepção de porto-ilha, com píeres abrigados em águas profundas para a atracação de navios de grandes dimensões, com abrigos modernos em caixões de concreto armado, eliminando enrocamento e aterro em águas profundas. Para a transferência de cargas, o SOOPS teria tecnologias inovadoras de movimentação de contêineres, sem a presença de caminhões e de consumo de energia de fontes não renováveis. O sistema de transbordo de contêineres seria efetuado por embarcações de menor porte para trânsito interno ao estuário (sistema hidroviário). Por fim, a tese do SOOPS é um modelo inovador, com terminais interiores que recebem chatas do sistema hidroviário e se conectam diretamente com ferrovias.

O tripé teórico desta pesquisa inspirou-se no conceito de Portos Sustentáveis e no caso do Porto de Venezia¹⁶, visando atender aos desafios de limitações de espaço para o crescimento logístico do Porto de Santos e acompanhamento da modernização das frotas. Em termos ambientais, buscou-se atender aos conceitos de Construir com a Natureza (*Building with Nature*) e Porto do Futuro (*Port of the Future*) para justificar o porto em águas profundas, para minimizar as dragagens dentro do estuário, propiciar a regeneração de áreas molhadas (manguezais) e direcionar o porto para produção e consumo de energia limpa que atenda às demandas da sociedade e de embarcações movidas com energia limpa, como a do gás natural, tendência irreversível no decorrer das próximas décadas.

¹⁶ Concepção estratégica estudada pela Autoridade Portuária do Porto de Venezia, Itália, fundamentada em estrutura em águas profundas (*offshore*) e sistema de transferência de cargas por embarcações e chatas menores ao terminal estuarino.

A concepção de obras portuárias deve considerar a análise das condições de abrigo das embarcações-tipo da ação dos ventos, ondas e correntes que possibilitem o acesso à costa, atracação de navios e movimentação de cargas de forma eficiente e sem o risco de prejudicar o sistema logístico do porto.

A avaliação dos locais a serem designados como possíveis candidatos para a implantação de terminais de embarcações de contêineres de grande porte (*Triple E*) deve buscar, em primeira instância, condições naturais de abrigo. Historicamente, a grande maioria dos portos de grande relevância mundial, como Rotterdam, Shanghai e Le Havre, desenvolveram-se inicialmente ao longo de estuários, e, posteriormente, sofreram grande expansão, o que exigiu a ampliação das instalações portuárias em direção ao mar (*offshore*), para profundidades maiores.

Ao abrigo deve-se compatibilizar a existência de profundidades compatíveis com o tipo de embarcações, no caso de contêineres, com os calados almejados de 15,50 m e comprimentos LOA de 400,0 m. Considerando-se os problemas relacionados ao estudo de caso do Porto de Santos, essa pesquisa buscou como solução a implementação de terminais *offshore* dimensionados a partir dos critérios de abrigo e profundidade, levando em conta também a viabilidade técnica, econômica e ambiental.

A região em águas profundas ao sul do Morro da Barra (Figura 33) foi identificada com elevado potencial de implantação do terminal *offshore*, pois a cota - 15,00 m (CHM-DHN-Marinha) naturalmente dista aproximadamente 1 km do Morro da Barra, onde se localiza a Praia Saco do Major, além de não interferir no atual canal de acesso do porto e gerar o mínimo impacto visual nas praias de Santos e Guarujá. Mais ao largo, encontra-se a isóbata - 20,00 m (CHM-DHN-Marinha), aproximadamente a 6,5 km da costa. Portanto, os estudos apresentados referem-se às localizações entre essas duas profundidades compatíveis com as embarcações previstas para as próximas décadas.

Figura 33 – Visão geral da Baía de Santos, canal de acesso ao e indicação das cotas -15,00 m (CHM-DHN-Marinha) e -20,00 m (CHM-DHN-Marinha)

Fonte: adaptado de Google Maps (2020)

4.6 SOOPS- ALTERNATIVAS PARA ARRANJOS DO TERMINAL *OFFSHORE*

O estudo de implantação e alternativas de arranjos para o terminal *offshore* ocorreu com levantamento de possibilidades e análises conceituais. Foram analisados cenários na cota – 15,00 m (CHM-DHN-Marinha) e – 17,00 m (CHM-DHN-Marinha), assim como obras de abrigo com molhes e quebra-mares, empregando maciços de blocos e de parede vertical de caixões em concreto armado.

4.6.1 Alternativa 1 – terminal na cota – 15,00 m (CHM-DHN-Marinha) e obras de abrigo com molhes de talude convergentes

A Figura 34 apresenta a alternativa 1, com a proposição de dois molhes de talude convergentes, enraizados na extremidade do maciço rochoso que cerca a Praia

Saco do Major. Um píer proporciona a criação de dársenas¹⁷ para a atracação das embarcações. O acesso às áreas retroportuárias costeiras seria feito de modo convencional por uma ponte com pista dupla para carretas. A linha encarnada da Figura 34 indica a cota – 15,00 m (CHM-DHN-Marinha).

Os molhes possuem cerca de 6.670 km de extensão total, com a área circunscrita de aproximadamente 488.590,50 km². Apesar de apresentar uma grande região abrigada e uma extensa área destinada às manobras das embarcações, essa alternativa tem um alto custo relacionado à implantação das obras de abrigo, que demandam elevados volumes de enrocamento e blocos pré-moldados de concreto (nas carapaças). Além do custo, verifica-se que a dinâmica sedimentar associada às correntes litorâneas sofrerá interferência dos molhes, impactando o transporte de sedimentos litorâneo.

Tendo em vista os conceitos do desenvolvimento de Portos Flexíveis enunciados no Capítulo 3, a necessidade de uma eventual expansão ou adaptações das instalações portuárias dessa alternativa não é viável. De fato, a largura do cais decorre da extensão do molhe leste e é limitada pela área interna definida por essa obra, que por sua vez somente poderá sofrer alterações mediante uma intervenção de elevado custo.

Os impactos ocasionados pela construção dos molhes resultam incompatível com os conceitos de Portos Sustentáveis e sua adoção como uma solução definitiva é incoerente com o conceito de Porto do Futuro. É muito elevado o montante esperado para o custo total da obra, devido principalmente à implantação dos molhes, além da interferência na dinâmica sedimentar. Além disso, a implantação na cota – 15,00 m (CHM-DHN-Marinha) demandaria serviços de dragagem de implantação para navios de calado 15,50 m.

Adicionalmente, a implantação na cota -15 m (CHM-DHN-Marinha) demandaria serviços de dragagem de implantação para navios com calado de 15,5 m.

¹⁷ O número de berços e dársenas foi estimado para efeito de arranjo portuário considerando a previsão logística e a otimização do número de berços para navios *Triple E*, conforme apresentado adiante para o SOOPS.

Figura 34 – Arranjo portuário da alternativa 1, com dois molhes de talude convergentes, cais com dársenas e ponte de acesso com pista dupla para carretas

Fonte: autor (2020)

4.6.2 Alternativa 2 – terminal na cota -15,00 m (CHM-DHN-Marinha) e obra de abrigo com quebra-mar de talude de alinhamento em forma de “U”

Optou-se por substituir os molhes da alternativa 1 por um quebra-mar de talude de alinhamento em forma de “U” e cais integrado, mantendo-se o número de dársenas.

A adoção de um quebra-mar, ao invés dos molhes (Figura 35 e Figura 36), minimiza a interferência no transporte de sedimentos ao longo da costa, visto que as

correntes litorâneas, responsáveis pela dinâmica sedimentar, não teriam obstáculo na zona de arrebenção, como ocorre na primeira alternativa. A ligação entre a Praia Saco do Major e a retroárea costeira seria feita por meio de ponte com pista simples para veículos leves, associada a monotrilhos adaptados para o transporte de contêineres suspensos, ambos sustentados por cavaletes de estacas espaçados adequadamente, de modo a não interferir no comportamento das correntes.

Figura 35 – Arranjo portuário da alternativa 2 com quebra-mar de talude de alinhamento em “U”, cais com dârsenas e ponte de acesso para veículos leves e monotrilhos

Fonte: autor (2020)

Figura 36 – Modelo 3D do arranjo portuário da alternativa 2

Fonte: autor (2020)

Essa alternativa, apesar de apresentar muitas conveniências e vantagens em relação à primeira, tem o mesmo problema de flexibilidade, pois não se adaptaria a eventuais expansões. Um aumento na demanda e no transporte de contêineres no porto poderia demandar a criação de dársenas adicionais. Com o arranjo portuário dessa alternativa, nota-se que não é possível ampliar o número de berços de atracação sem que haja a necessidade de desconstruir grande parte do quebra-mar para incluir essas possíveis expansões futuras do porto. Também nesse caso, a implantação na cota – 15,00 m (CHM-DHN-Marinha), linha encarnada da Figura 35, demandaria serviços de dragagem de implantação para navios com calado de 15,50 m.

4.6.3 Alternativa 3 – terminal na cota – 15,00 m (CHM-DHN-Marinha) e obra de abrigo com quebra-mar de talude de alinhamento em “L”

A partir das limitações discutidas nas duas alternativas anteriores, concebeu-se a terceira alternativa (Figura 37). Essa solução teve o arranjo portuário fundamentado no porto do Pecém (Figura 8) localizado no Estado do Ceará, consistindo em um quebra-mar de talude de alinhamento em “L”, que abriga sete

berços e recebe embarcações de carga geral, granel líquido e sólido e contêineres, sendo a carga movimentada de e para a retroárea costeira por carretas que percorrem uma ponte de 2 km em pista dupla. As obras de atracação são compostas por dois *fingers* e um cais no tardo da perna mais ao largo do quebra-mar. No caso do Porto de Santos, a ligação com a retroárea costeira seria feita por meio da mesma tecnologia que foi exposta na alternativa anterior, com monotrilhos adaptados para o transporte de contêineres suspensos.

Essa alternativa foi concebida com alinhamento que evitar a necessidade de desconstrução da estrutura caso haja necessidade de expansões e modificações, de modo a atender futuras alterações no número e no tamanho das embarcações, que são reflexo das variações na demanda e no tipo de carga a ser transportada para o porto.

Apesar de oferecer as citadas vantagens, ainda apresenta a dependência de rebaixamento de leito, por estar localizado na cota – 15,00 m (CHM-DHN-Marinha), o que demandaria serviços de dragagem de implantação para navios com calado de 15,50 m.

Figura 37 – Arranjo portuário da alternativa 3 com quebra-mar de talude de alinhamento em “L”, obras de atracação com dois *fingers* e um cais no tardo da perna sul do quebra-mar, com ponte de acesso para veículos leves e monotrilhos

Fonte: autor (2020)

4.6.4 Alternativa 4 – terminal na cota -17,00 m (CHM-DHN-Marinha) e obra de abrigo com quebra-mar de parede vertical de caixão em concreto armado com alinhamento em “L”

Essa alternativa foi concebida de forma a responder às limitações quanto à sustentabilidade e flexibilidade das outras três alternativas. Desta maneira, a Figura 38 apresenta o terminal, posicionado na cota - 17,00 m (CHM-DHN-Marinha), com quebra-mar de parede vertical de caixões em concreto armado a serem produzidos

em canteiro de obras localizado na área estuarina. Os quebra-mares de parede vertical de caixão, diferentemente dos quebra-mares de talude, servem como abrigo de ondas e, simultaneamente, prestam-se facilmente a estrutura de acostagem e movimentação de contêineres no seu tardo.

Figura 38 – Arranjo portuário para alternativa 4 com quebra-mar de parede vertical de caixão em concreto armado com alinhamento em “L”, cais conteneiro incorporado no tardo do quebra-mar e dois *fingers*, com acesso via hidroviária

Fonte: autor (2020)

A proposta da Alternativa 4 para o sistema de transferência de contêineres é via chatas (ou barcaças) não propelidas e sem tripulação, prevendo-se um berço adicional para carregamento/descarregamento dessas embarcações de menor porte. Para o transbordo entre o cais de navios conteneiros e o *finger* de barcaças, seria empregado o monotrilho de cargas, similar ao proposto nas alternativas 2 e 3.

4.7 SOOPS- DESENVOLVIMENTO DA ALTERNATIVA 3

A alternativa 3 foi desenvolvida em quebra-mar de talude na cota - 15,00 m (CHM-DHN-Marinha), com blocos em concreto pré-moldado de acrópode II, cais em concreto armado estaqueado para atracação e amarração de navios (Figura 39). Neste item apresentam-se os principais conceitos desta alternativa, como dimensionamentos preliminares do quebra-mar, cais e píeres, espaços náuticos, tecnologia de transferência de contêineres e estimativas de custos.

Figura 39 – Modelo 3D para terminal *offshore* da Alternativa 3 com quebra-mar de talude em enrocamento e transferência de contêineres por monotrilha

Fonte: autor (2020)

Para avaliar o abrigo das ondas, deve-se dispor da direção de proveniência das ondas. Para estimar o ângulo de incidência das ondas nos cabeços do quebra-mar, analisam-se as rosas de ondas da região, que apresentam a frequência espacial de altura das ondas (Figura 40) e períodos (Figura 41). Estes dados foram obtidos a partir do modelo oceanográfico Wave Watch III da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) dos Estados Unidos e contemplam dados calculados a cada 3 h em 39 anos, de 1979 a 2017, no ponto de grade em águas profundas mais próximo a Santos.

A Figura 42 apresenta a posição da alternativa 3 em relação à linha de costa e as rosas de ondas sobrepostas. De plano observa-se que existem dois setores

direcionais dominantes, ENE e S. Nota-se que as ondas de ENE (70° a 80°) tendem a ser parcialmente abrigadas pela morfologia costeira do Guarujá (Morro da Munduba). Assim, o posicionamento preliminar¹⁸ do quebra-mar foi definido preponderantemente pelas ondas vindas de S (180° a 190°), que também é o setor que concentra maior energia das ondas.

Figura 40 – Rosa de ondas em águas profundas próximas ao Porto de Santos entre 1979 e 2017. Altura de onda (m) e direção ($^\circ$)

Fonte: WWIII¹⁹ obtido de (NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration 2020)

¹⁸ O posicionamento do quebra-mar proposto nesta pesquisa é preliminar em nível conceitual.

¹⁹ O Wavewatch III é um modelo de ondas em águas profundas desenvolvido pela National Weather Service (NWS) / National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e operado no Brasil pela CHM - Centro de Hidrografia da Marinha.

Figura 41 – Rosa de ondas em águas profundas próximas ao Porto de Santos entre 1979 e 2017. Período de onda (s) e direção (°)

Fonte: WWIII obtido de (NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration 2020)

O quebra-mar deverá ter área plana em sua crista que permita a movimentação de contêineres – carga e descarga dos navios, transporte e embarque e desembarque do monotrilho. Assim, deverá comportar portêineres, empilhadeiras e a estrutura do monotrilho. A estrutura de atracação e amarração de navios deve ser independente do quebra-mar.

A análise preliminar realizada para definir a geometria da estrutura do quebra-mar (Figura 43) considerou uma crista com largura de 20,00 m e a base com 87,13 m na seção transversal AB (Figura 44). Na seção transversal CD (Figura 45) a crista apresenta 15,00 m de largura e 82,90 m de base. As seções típicas do Cabeço 1 e Cabeço 2 estão apresentadas na Figura 46 e na Figura 47, respectivamente.

Figura 42 – Arranjo da alternativa 3 com sobreposição das rosas de onda de altura e período para o Porto de Santos

Fonte: autor (2020)

Figura 43 – Quebra-mar da alternativa 3 e indicação das seções transversais

Fonte: autor (2020)

Figura 44 – Seção AB do quebra-mar para alternativa 3 (cotas batimétricas CHM-DHM-Marinha)

Fonte: autor (2020)

Figura 45 – Seção CD do quebra-mar para alternativa 3 (cotas batimétricas CHM-DHM-Marinha)

Fonte: autor (2020)

Figura 46 – Seção Cabeço 1 do quebra-mar para alternativa 3 (cotas batimétricas CHM-DHM-Marinha)

Fonte: autor (2020)

Figura 47 – Seção Cabeço 2 do quebra-mar para alternativa 3 (cotas batimétricas CHM-DHM-Marinha)

Fonte: autor (2020)

O cálculo preliminar do peso dos blocos necessários para a armadura foi feito com base na fórmula de Hudson, desenvolvida pelo U. S. Army Corps of Engineers, determinado o volume necessário de enrocamento. Para ondas acima de 4,0 m, o emprego de enrocamento levaria a peso resultante a superar 12,00 tf, ultrapassando o maior bloco que seria viável extrair da pedreira de Mongaguá²⁰, a mais próxima licenciada, a cerca de 50 km, em condições de fornecer blocos maiores. A pedreira Intervalles, também licenciada, situa-se mais próximo (20 km), mas seu grau de fraturamento não permite a obtenção de blocos tão grandes¹⁸. Assim, para esse caso, considerou-se o uso de blocos de concreto do tipo ACCROPODE II para a composição da armadura do quebra-mar.

Para efeito de dimensionamento da armadura, com ondas de projeto de 7,00 m, calculou-se o peso dos blocos de armadura, resultando blocos do tipo ACCROPODE II de 21,6 tf. Para essa magnitude de pesos, os blocos pré-moldados em canteiro de obras teriam que ser transportados por chatas para o local da obra. Para a subcapa, ou camada intermediária, o emprego das pedreiras viabiliza o fornecimento, recomendando-se também a inclusão de transporte aquaviário, visando baratear os custos e minimizar as interferências.

4.8 SOOPS- DESENVOLVIMENTO DA ALTERNATIVA 4

Desenvolveu-se a alternativa 4 (Figura 48 a Figura 52) com o objetivo de apresentar um arranjo para maiores profundidades com relação à cota - 15,0 m (CHM-DHN-Marinha), visando prescindir da dragagem de implantação, com tipologias otimizadas de obras de abrigo e sistemas de transbordo sustentáveis. Além disso, buscou-se uma posição para o terminal *offshore* que o tornasse independente de pontes de acesso à costa, que valorizasse a produção de energia limpa e minimizasse a necessidade de caminhões para movimentação de contêineres.

²⁰ Foram realizadas pesquisas preliminares nas pedreiras da região para avaliação de disponibilidade e pesos estimados do enrocamento. A pedreira Mongaguá e a Pedreira Intervalles se mostraram viáveis para fornecimento do material. As produtividades das jazidas são de 1.300 m³/dia de rochas na faixa de 3 a 10 tf para a pedreira Mongaguá e 2.500 m³/dia de rochas até 3 tf para a pedreira Intervalles.

A Figura 48 apresenta o posicionamento do terminal *offshore* mais ao largo em relação à alternativa 3 (Figura 42), na cota aproximada de - 17,00 m (CHM-DHN-Marinha). Desta maneira, o Morro da Munduba não é mais um abrigo natural das ondas de ENE (70º a 80º), como seria na alternativa 3. Logo, previu-se um giro no quebra-mar de forma a abrigar das ondas de ENE e S.

A Figura 51 e Figura 52 apresentam a disposição dos terminais *offshore* e *onshore*.

Figura 48 – Posição do terminal *offshore* para Alternativa 4 com sobreposição das rosas de ondas de altura e período em águas profundas

Fonte: autor (2020)

Figura 50 – SOOPS para Alternativa 4 com sobreposição das ondas de S com altura e período assinalado em águas profundas

Fonte: adaptada de ARAÚJO (2005)

Figura 51 – SOOPS-Planta geral do terminal offshore

Fonte: autor (2020)

Figura 52 – SOOPS-Planta geral do terminal onshore 19,5 km distante do terminal offshore

Fonte: autor (2020)

4.9 ESTIMATIVAS LOGÍSTICAS PARA O PORTO DE SANTOS NAS PRÓXIMAS DÉCADAS

4.9.1 Projeção da movimentação de contêineres até 2060

As incertezas inerentes aos grandes projetos de infraestrutura impõem que as mudanças substanciais a longo-prazo tenham conhecimento do contexto no qual o projeto estará inserido. Ademais, a flexibilização dos projetos em sua fase inicial (conceitual) é tão importante quanto modelos preditivos de movimentação de cargas, cenários econômicos e projeções futuras (TANEJA, VELLINGA E ROS, 2012).

Dentro do recorte da presente pesquisa, efetuou-se um estudo conceitual da movimentação de contêineres no horizonte de projeto, prevendo sua evolução a partir de premissas coerentes, porém, não necessariamente, mandatórias.

Com o objetivo de estimar a movimentação em TEUs no Porto de Santos até meados do presente século, foi adotado um método de projeção da movimentação de contêineres com base na atividade econômica do país, por meio de um índice de elasticidade TEU/PIB.

Foi efetuada uma pesquisa da série história de movimentação de contêineres no Porto de Santos, obtida dos anuários da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ, 2020). Ressalta-se que, devido aos efeitos da pandemia, os dados de 2020 foram considerados como *outliers* e, portanto, descartados da análise. A Tabela 18 apresenta a movimentação anual de contêineres e a variação percentual comparada com o ano anterior.

Outra variável necessária para determinar o índice de elasticidade é a projeção do PIB brasileiro, que foi obtida em OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development (2020). A partir da série histórica 2010 - 2019 da ANTAQ e da OECD, foi obtido um índice de “elasticidade” médio do período em TEUs/PIB (US\$). Obteve-se o valor de 1,007 TEUs por acréscimo de 1 US\$ do PIB.

Foi possível, então, estimar a projeção para meados do Século XXI para o Porto de Santos. Para isso foi somada ao índice de elasticidade de 2019 uma constante k de modo que, após 15 anos, o índice de elasticidade chegaria ao valor médio encontrado para a série histórica.

Tabela 18 – Movimentação de cargas (TEUs) da série história do Porto de Santos e variação em relação ao ano anterior

Ano	TEUs	Variação
2010	2.715.568	-
2011	2.985.417	9,94%
2012	2.961.426	- 0,80%
2013	3.193.632	7,84%
2014	3.040.231	- 4,80%
2015	3.027.208	- 0,43%
2016	2.778.016	- 8,23%
2017	2.959.573	6,54%
2018	3.221.002	8,83%
2019	3.231.274	0,32%

Fonte: (ANTAQ,2020)

Após esse ano, manteve-se a elasticidade constante. Partindo do índice de elasticidade (i) projeta-se a movimentação de contêineres (T) com base na projeção do PIB (P), de acordo com a Equação (1) e Equação (2).

$$T_{j+1} = T_j \cdot (1 + \Delta_T) \quad \text{Equação (1)}$$

$$\Delta_T = i \cdot \Delta_P \quad \text{Equação (2)}$$

Sendo:

T_{j+1} : a projeção de carga movimentada no ano j+1;

T_j : a carga movimentada no ano j;

Δ_T : variação de carga movimentada entre os anos j+1 e j;

Δ_P : variação do PIB entre os anos j+1 e j;

i: índice de elasticidade.

Dessa forma foi elaborada a Tabela 19, que apresenta a previsão de 5,7MTEUs em 2060. A projeção indica que, a partir do ano de 2050, o Porto de Santos deve movimentar aproximadamente 5 MTEUs/ano. Esse valor representa um acréscimo de aproximadamente 1,8 MTEUs/ano quando comparado com o movimentado em 2019.

Portanto, o valor mínimo adotado no dimensionamento do SOOPS foi de 2 MTEUs/ano de forma a atender esse aumento de demanda ao qual o Porto terá que atender. A premissa adotada é de que o estágio atual do Porto de Santos é o limite de capacidade para movimentar contêineres, principalmente devido aos problemas ambientais e econômicos com dragagem e pressões sociais.

Tabela 19 – Projeção de movimentação de contêineres para o Porto de Santos até 2060 a partir de correlação com evolução do PIB do Brasil

		Carga		PIB		Elasticidade delta TEU/PIB
		TEUs	Variação	Milhões USD	Variação	
Histórico	2010	2.715.568	-	2.802.311	-	-
	2011	2.985.417	9,94%	2.913.990	3,99%	2,49
	2012	2.961.426	-0,80%	2.970.321	1,93%	-0,42
	2013	3.193.632	7,84%	3.059.736	3,01%	2,60
	2014	3.040.231	-4,80%	3.075.286	0,51%	-9,45
	2015	3.027.208	-0,43%	2.966.120	-3,55%	0,12
	2016	2.778.016	-8,23%	2.863.250	-3,47%	2,37
	2017	2.959.573	6,54%	2.891.198	0,98%	6,70
	2018	3.221.002	8,83%	2.947.601	1,95%	4,53
	2019	3.231.274	0,32%	3.031.292	2,84%	0,11
Projeção	2020	3.247.855	0,51%	3.172.702	4,66%	0,11
	2021	3.271.035	0,71%	3.306.067	4,20%	0,17
	2022	3.297.245	0,80%	3.421.463	3,49%	0,23
	2023	3.325.247	0,85%	3.521.882	2,93%	0,29
	2024	3.355.154	0,90%	3.612.608	2,58%	0,35
	2025	3.387.659	0,97%	3.698.197	2,37%	0,41
	2026	3.423.256	1,05%	3.781.108	2,24%	0,47
	2027	3.462.259	1,14%	3.862.623	2,16%	0,53
	2028	3.504.951	1,23%	3.943.587	2,10%	0,59
	2029	3.551.539	1,33%	4.024.473	2,05%	0,65
	2030	3.602.188	1,43%	4.105.555	2,01%	0,71
	2031	3.657.048	1,52%	4.187.009	1,98%	0,77
	2032	3.716.257	1,62%	4.268.939	1,96%	0,83
	2033	3.779.947	1,71%	4.351.404	1,93%	0,89
	2034	3.848.251	1,81%	4.434.437	1,91%	0,95
	2035	3.921.295	1,90%	4.518.042	1,89%	1,01
	2036	3.994.828	1,88%	4.602.197	1,86%	1,01
	2037	4.068.786	1,85%	4.686.827	1,84%	1,01
	2038	4.143.067	1,83%	4.771.817	1,81%	1,01
	2039	4.217.558	1,80%	4.857.036	1,79%	1,01
	2040	4.292.153	1,77%	4.942.365	1,76%	1,01
	2041	4.366.767	1,74%	5.027.705	1,73%	1,01
	2042	4.441.293	1,71%	5.112.935	1,70%	1,01
	2043	4.515.621	1,67%	5.197.929	1,66%	1,01
	2044	4.589.656	1,64%	5.282.578	1,63%	1,01
	2045	4.663.338	1,61%	5.366.815	1,59%	1,01
	2046	4.736.650	1,57%	5.450.620	1,56%	1,01
	2047	4.809.312	1,53%	5.533.673	1,52%	1,01
	2048	4.881.305	1,50%	5.615.953	1,49%	1,01
	2049	4.952.642	1,46%	5.697.475	1,45%	1,01
	2050	5.023.378	1,43%	5.778.303	1,42%	1,01
	2051	5.093.593	1,40%	5.858.528	1,39%	1,01
	2052	5.163.614	1,37%	5.938.524	1,37%	1,01
	2053	5.233.513	1,35%	6.018.373	1,34%	1,01
	2054	5.303.392	1,34%	6.098.192	1,33%	1,01
	2055	5.373.370	1,32%	6.178.117	1,31%	1,01
	2056	5.443.536	1,31%	6.258.249	1,30%	1,01
	2057	5.513.854	1,29%	6.338.549	1,28%	1,01
	2058	5.584.215	1,28%	6.418.891	1,27%	1,01
	2059	5.654.501	1,26%	6.499.140	1,25%	1,01
	2060	5.724.633	1,24%	6.579.206	1,23%	1,01

Fonte: autor (2020)

4.9.2 Estudo Logístico hidroviário para o SOOPS

A alternativa desenvolvida com o terminal *offshore* na cota – 17,00 m (CHM-DHN-Marinha), conforme mostrado na Figura 52, dista aproximadamente 19,5 km do terminal *onshore* planejado. De forma a manter a independência das estruturas em águas profundas com relação à costa, desenvolveu-se o sistema hidroviário de transbordo com a concepção proposta no estudo do Porto de Venezia, Itália, conforme descrito em Autorità Portuale Di Venezia (2012).

O terminal *offshore* do estudo italiano previu estrutura de quebra-mar independente do píer principal de movimentação de contêineres (Figura 55), diferentemente da proposição para o SOOPS (Figura 51).

Figura 53 – Visão geral do terminal offshore previsto para o Porto de Venezia/Itália e sistema de integração

Fonte: (AUTORITÀ PORTUALE DI VENEZIA, 2012)

Para o Porto de Venezia, o transbordo entre o terminal *offshore* e o porto lagunar foi projetado por meio do acoplamento de chatas não tripuladas aos navios

de transbordo, denominados *Mama Vessel* (Figura 54). Trata-se de um *shuttle service of Lighter Aboard Ships* (LASH).

Figura 54 – Vista do carregamento de chatas no píer de barcaças e *Mama Vessel* com duas chatas acopladas para o sistema de integração

Fonte: (AUTORITÀ PORTUALE DI VENEZIA, 2012).

Figura 55 – Fluxograma operacional previsto para o SOOPS

Fonte: autor (2020)

Para a pesquisa do Porto de Santos previu-se sistema similar ao italiano, por transbordo hidroviário compondo um sistema *offshore-onshore*, uma vez que os ganhos de escala, produtividade, custo de operação e ônus ambientais são favoráveis, quando confrontados com outras opções, como rodoviária ou ferroviária. Assim, foi adotado um sistema de embarcações baseado no navio *Mama Vessel* (AUTORITÀ PORTUALE DI VENEZIA, 2012b).

O *Mama Vessel* é uma embarcação que pode receber até duas chatas acopladas e faria o transporte das chatas entre os pontos deste sistema logístico. Ela seria movida a GNL, visando eliminar a emissão de gases do efeito estufa. (MINISTERO DELLE INFRAESTUTTURE E TRANSPORTI MAGISTRATO ALLE ACQUE DI VENEZIA, 2013). A operação de carregamento ou descarregamento dos navios, quando auxiliada por esses *Mama Vessels* se torna mais flexível, diminuindo os tempos ociosos que são inerentes a outras formas de transporte como o rodoviário, ferroviário, ou até mesmo o hidroviário, porém composto exclusivamente por chatas. Outra vantagem do uso desses navios é a possibilidade de enfrentar as ondas no canal de acesso externo, que podem alcançar até 5,00 m de altura sem limitar demasiadamente as unidades de transporte e tripulação, quando comparada com chatas autopropelidas de navegação interior. As características de embarcação e chatas adotadas são as seguintes:

Chatas

LOA: 58,0 m, comportando dois conjuntos de 8 TEUs de comprimento por 3 TEUs de altura

Boca: 26,50 m, comportando 9 TEUs de largura

Máximo calado: 3,75 m

Capacidade: 216 TEUs (2 chatas)

Mama Vessel

LOA: 150,0 m

Boca: 31,00 m

Máximo calado: 7,50 m

Capacidade: 432 TEUs (2 chatas)

Velocidade: 7 nós com máximo calado, ou seja, carregado (12,96 km/h)

A distância percorrida pela composição *Mama Vessel* com as chatas entre o terminal *offshore* e o terminal *onshore* é aproximadamente 19,5 km. Adotou-se a

premissa de velocidade da embarcação escolhida em 7 nós, ou seja 13,0 km/h. Assim, a embarcação demoraria aproximadamente 1 hora e 30 minutos em um percurso de 19,5 km.

A partir de valores coletados de portos em atividade no Brasil e no mundo, adotou-se o valor médio de transbordo de cada contêiner, do navio para o cais, de 3,0 minutos. Dessa forma, o tempo total de carregamento/descarregamento de uma chata escolhida (com capacidade de 216 TEUs) é de aproximadamente 11 horas.

Foram realizados dois estudos logísticos sob o ponto de vista do transbordo. O primeiro, visando compreender o potencial máximo de aproveitamento do sistema e da infraestrutura, com o objetivo de obter o maior valor de TEUs que poderiam ser movimentados em um ano. O segundo, com o objetivo de atender à movimentação de carga estimada para meados deste século (Tabela 19).

i. Atendimento da demanda de movimentação estimada pela projeção econômica (2,48 MTEUs/ano)

A partir do valor estimado de TEUs que deve ser movimentado por mês, aproximadamente 170.000, do tempo de percurso de 1,5 h para cobrir os 19,5 km, do tempo de transbordo de 11 h, foi possível determinar o tempo de ciclo para atender à demanda.

Usando como referência valores adotados em (Autorità Portuale Di Venezia 2012), partindo-se com uma composição de duas embarcações Mama Vessel e tendo à disposição duas embarcações precisando atender ao tempo de ciclo correspondente à movimentação de quatro chatas a cada 3,0 horas, foi possível determinar a quantidade de chatas que atenderiam ao sistema logístico. O fluxograma da Figura 55 representa, de forma esquemática, os ciclos e transbordos.

Figura 56 – Fluxograma operacional previsto para o SOOPS no cenário de 2,48 MTEUs/ano

Fonte: autor (2020)

A Tabela 20 apresenta o resultado operacional para atender à demanda de 2,48 M TEUs/ano. Nota-se que são necessárias 20 chatas e 2 *Mama Vessels*.

Tabela 20 – Requisitos operacionais para o cenário estudado (2,48 M TEUs/ano)

Movimentação de carga (Milhões de TEUs/ano)	2,48
Chatas	20
Mama Vessels	2
Ciclo de um grupo de Chatas (horas)	10,8
Ciclo de movimentação (horas)	3,0
Chatas atracadas simultaneamente	12

Fonte: autor (2020)

ii. Potencial máximo estimado para o sistema (4,98 M TEUs/ano)

Empregaram-se os mesmos valores adotados para percurso e transbordo; respectivamente 1,5 h e aproximadamente 11 h. É possível otimizar o sistema se ele tiver à disposição um número maior de chatas, pois, o gargalo de tempo, que está no carregamento/descarregamento das chatas, pode ser compensado pela maior frequência entre chataas sucessivas. O fluxograma da Figura 57 representa, de forma esquemática, os ciclos e transbordos.

A Tabela 21 apresenta o resultado operacional para a máxima capacidade operacional do sistema, sendo 4,98 M TEUs/ano. Nota-se que são necessárias 36 chatas e 2 *Mama Vessels*.

Tabela 21 – Requisitos operacionais para o cenário de máxima movimentação
(4,98 M TEUs/ano)

Movimentação de carga (Milhões de TEUs/ano)	4,98
Chatas	36
Mama Vessels	2
Ciclo de um grupo de chatas (horas)	10,8
Ciclo de movimentação (horas)	1,5
Chatas atracadas simultaneamente	16

Fonte: autor (2020)

4.9.3 Cais e obra de abrigo das ondas- sistema integrado de caixão em concreto armado

O desafio das obras ao largo (*offshore*) é garantir a proteção de ondas das embarcações em manobra e atracadas, assim como demais itens da infraestrutura do terminal. Para tanto, maciços de quebra-mar ou molhes de talude em enrocamento ou blocos de concreto, como apresentado na Alternativa 3 são mais comuns no Brasil, entretanto as estruturas de talude são complexas em suas execuções, pois demandam jazidas próximas (impactos ambientais e sociais), logística diferenciada para caminhões e equipamentos portuários junto à cidade (impactos sociais) e emprego de meios flutuantes para obras distantes da costa (impactos financeiros e cronogramas).

Além das dificuldades construtivas do quebra-mar de talude, somam-se as de ter que construir o cais no tardo do talude, uma vez que a projeção submersa do talude reduz a lâmina de água operacional do berço de atracação.

Para a proposição sustentável do SOOPS, sobretudo na diretriz de flexibilidade, propõe-se estrutura de parede vertical de caixão em concreto armado pré-moldada, que atua como barreira contra as ondas em sua face exposta e como cais em seu tardo. O canteiro para construção dos caixões em concreto armado pode ser

implantado em área abrigada estuarina, na margem esquerda do Estuário de Santos (Município do Guarujá), próximo ao morro junto à desembocadura (Figura 32)

A Figura 58 apresenta o corte típico do cais para navio *Triple E* em águas profundas. A cota de fundo dos berços e dársenas é a natural de – 17,00 m (CHM-DHN-Marinha). Construtivamente, necessita-se de dragagem até cota - 22,00 m (CHM-DHN-Marinha)²¹ para execução da fundação em enrocamento.

A Figura 59 apresenta a planta do cais para navios conteneiros, com destaque para os 5 portêineres e monotrilha para contêineres.

Além da vantagem construtiva deste tipo de quebra-mar em relação aos de talude, destaca-se a menor área de influência submersa da estrutura de parede vertical, o que permite às embarcações ficarem atracadas o mais próximo possível dos portêineres, trazendo ganhos mecânicos e melhor acessibilidade.

²¹ As espessuras do rebaixamento são estimadas. Para projeto detalhado é mandatório estudo geotécnico de estabilidade, rupturas e recalques destas fundações.

Figura 58 – Corte típico do cais para navios conteneiros com plataforma em concreto armado pré-moldado e portêineres

Fonte: autor (2020)

Figura 59 – Planta conceitual do cais para navios conteneiros com plataforma em concreto armado pré-moldado e portêineres

Fonte: autor (2020)

4.9.4 Píer para barcaças

O Sistema integrador entre o terminal *offshore* e o terminal *onshore*, conforme identificado na Figura 51, foi pensado como LASH, por transbordo com embarcações de menor porte (*Mama Vessels*) transportando chatas acopladas (Figura 54). Este sistema substitui com grande vantagem o transporte rodoviário, com redução do custo pela maior capacidade de carga, menor relação HP/t (da ordem de 0,5 HP/t, dezesseis vezes menos do que no rodoviário), menor emissão de gases nocivos, maior rastreabilidade da carga e menor índice de acidentes (LOPES, 2012). Para tanto, fez-se necessário construção do píer para barcaças do lado interno da dársena.

Outra opção que poderia ser estudada em trabalhos futuros é a dos comboios de empurra marítimos formados por empurrador e barcaça articulados, que permitem a operação com pequenos tempos de parada nos terminais, operando sem interrupção também e movimentando demanda expressiva. Comparativamente com a barcaça LASH, a barcaça no sistema articulado é única e com o dobro da dimensão, podendo, portanto, transportar a mesma quantidade de TEUs. Nas chamadas “auto-estradas marítimas” de cabotagem europeias constituem-se em equipamento básico da Rede Trans-Europeia de Transportes, permitindo a conexão sem transbordos costeiros ou interiores (LOPES, 2012).

A Figura 60 apresenta o corte típico do píer para barcaças em águas profundas. Nota-se a cota natural – 17,00 m (CHM-DHN-Marinha) como fundo do leito dos berços e dársenas. Não seriam necessárias profundidades de 17,00 m para as chatas, entretanto para tornar a infraestrutura flexível para outros tipos de operação com navios maiores (granéis sólidos, por exemplo), optou-se por manter a profundidade natural.

A Figura 61 apresenta a planta do píer para barcaças, com destaque para o posicionamento de 18 berços para carregamento/descarregamento simultâneos e plataforma central para encaminhamento de monotrilho para contêineres.

O funcionamento do píer para barcaças assemelha-se ao cais para navios conteneiros. Nas operações de importação de contêineres, estes são trazidos pelas embarcações de longo curso (navio de projeto *Triple E*) e embarcados no monotrilho no cais para navios conteneiros (Figura 59). A operação de transbordo para as chatas ocorre a partir de transferência por monotrilhos automatizados até o píer para

barcaças. Neste píer, as chatas são carregadas por guindastes (fixos ou móveis), ou mesmo portêineres. As chatas, então, são acopladas ao *Mama Vessel*, que fará a navegação, em parte em mar aberto e em parte no estuário até o terminal *onshore*.

Figura 60 – Corte típico do píer para barcaças com plataforma em concreto armado pré-moldado e portêineres

Fonte: autor (2020)

Figura 61 – Planta do píer barcaças com plataforma em concreto armado pré-moldado, equipamentos de manuseio de contêineres, berços para chatas e *Mama Vessel*

Fonte: autor (2020)

4.9.5 Transferência de contêineres entre o cais para navios conteneiros e o píer para barcaças via monotrilhos

Diante das diretrizes de otimização de energia, automatização de processos e menor impacto ambiental, discurridos na conceituação de Porto Sustentável, buscou-se uma tecnologia inovadora para transferência de contêineres via monotrilhos automatizados movidos por energia renovável (solar, eólica ou elétrica a partir de termelétricas a gás natural), eliminando a necessidade de estruturas em mar de transferência para a costa (ponte) e, sobretudo, a dispensa de caminhões.

A adoção do sistema apresenta benefício que atingiu diretamente o dimensionamento do quebra-mar, pois sendo um sistema rápido e organizado de transferência de carga permite que a estrutura *offshore* não necessitasse de área de retroporto ou uma área para estocagem de carga, que teria que ser abrigada. Assim, os contêineres, carregados ou descarregados dos navios, seriam automaticamente acoplados ao monotrilho e levados ao píer para barcaças, onde seriam transferidos até seu destino.

A Figura 62 apresenta sistema desenvolvido para trechos lineares. Já a Figura 63 apresenta o elevador de contêineres (*lift*) que possibilita a transferência do cais ao monotrilho elevado.

Figura 62 – Monotrilhos de contêineres para transporte automatizado sem necessidade de caminhões

Fonte: (EAGLERAIL, 2020)

Figura 63 – Detalhe da plataforma de elevação (ou rebaixamento) de contêineres para transferência do chão ao monotrilho

Fonte: (EAGLERAIL,2020)

Essa solução, com fundamento em uma perspectiva sustentável, é uma resposta aos problemas associados ao aumento do tráfego rodoviário, ao acúmulo de embarcações fundeadas nas áreas de espera e ao excesso de emissão de poluentes nocivos e gases constituintes do efeito estufa. Buscou-se, portanto, ampliar a eficiência no transbordo de cargas e independência do transporte rodoviário, inibindo-se a formação de gargalos logísticos de maneira sustentável.

Os monotrilhos são compostos de estruturas metálicas que sustentam os contêineres suspensos e os transportam em um fluxo contínuo. A Figura 64 apresenta o modelo 3D da região do cais para navios conteneiros em estruturas de concreto armado, monotrilhos suspensos e portêineres.

As principais vantagens desta tecnologia de movimentação de contêineres consistem em quatro fatores que são: solução complementar de transporte, minora problemas ambientais (que ocorrem com o emprego de caminhões movidos a combustível poluente e emissores de gases do efeito estufa), facilidade de implementação e manutenção e segurança das cargas e previsibilidade. Em vista disso, destacam-se a seguir os seguintes benefícios:

- Possibilidade de operar como alternativa e sistema de integração com outros modais;
- Não competem pelo espaço escasso utilizado pelos modais rodoviários;
- Tecnologia limpa com emprego de eletricidade;
- A parte superior do trilho pode ser aberta e composta por painéis para geração de energia solar;
- Baixo impacto ambiental comparado com outros modais;
- Não exige grandes áreas para implantação;
- São estruturas que podem ser construídas em módulos;
- Integram-se gradualmente com outros modais sem haver interrupção no fluxo de cargas;
- O topo do trilho permite que veículos de serviço e manutenção tenham acesso aos mecanismos de funcionamento do transporte;
- Aumentam a segurança no transporte das cargas devido à inacessibilidade dos contêineres durante o transporte.

Além de todos os benefícios citados, esse sistema de transporte está embasado em fundamentos que sustentam o conceito de Porto do Futuro, que são materializados por meio do aumento da automatização, com menos serviços repetitivos, e aumento da eficiência logística, da alta velocidade de escoamento e transferência de cargas, do uso de rastreamento inteligente em tempo real do fluxo de contêineres e da criação de bancos de dados aprimorados para viabilizar um melhor planejamento de demandas futuras.

Esta alternativa de transporte visando a expansão *offshore* do Porto de Santos, constitui-se em uma solução que assimila e integra características baseadas nos conceitos teóricos de Porto do Futuro, Portos Flexíveis e *Building with Nature*. Tem-se, assim, um porto *offshore* com transporte de carga que não segue o sistema de transporte dos modelos de portos tradicionais (caminhões e robustas pontes de acesso).

Figura 64 – Modelagem 3D da solução final do porto *offshore* (cais para navios contêineres, monotrilhos e portêineres sobre estrutura em concreto armado)

Fonte: autor (2020)

4.9.6 Energia Limpa e novo terminal *offshore* de GNL

A tendência de incorporar a produção de energia limpa nos portos sustentáveis, além da flexibilidade operacional, justificou um píer adicional para infraestrutura de terminal de GNL (Gás Natural Liquefeito). De fato, com a estrutura de quebra-mar de parede vertical de caixões em concreto armado seriam instaladas várias turbinas eólicas para garantir a autossuficiência energética limpa do SOOPS. Por outro lado, a demanda por terminais de GNL no país tem aumentado significativamente nos últimos anos em função das descobertas de gás metano na Costa Brasileira, bem como pelo interesse em utilização do gás para termoeletricas limpas, em substituição às antigas usinas à carvão. No âmbito portuário, destaca-se a necessidade dos portos modernos e inovadores em fornecerem combustível limpo para as embarcações de novas gerações que se apresentam no setor, bem como para geração de energia limpa para os equipamentos portuários. Portanto, previu-se terminal de líquidos *offshore*, abrigado pelo quebra-mar compartilhado com operação de contêineres, que permita a operação deste tipo de carga. Desta maneira, o SOOPS se coloca à frente nas tendências de abastecimento de navios e alimentação de indústrias e municípios de sua hinterlândia.

Diante do plano de implantação do projeto de Reforço Estrutural de Suprimento de Gás da Baixada Santista, além do anseio em colocar o Porto de Santos na vanguarda do suprimentos de gás às embarcações de novas gerações, surge a demanda de um Terminal de GNL, que compreende a operação do terminal marítimo para recebimento, estocagem e vaporização de Gás Natural Liquefeito (GNL) em águas profundas (Figura 51).

O terminal marítimo seria construído junto às instalações *offshore* propostas nesta pesquisa. O berço seria destinado à atracação de navios do tipo FSRU (*Float Storage and Regasification Unit*), que estocaria e regaseificaria o GNL (Gás Natural Liquefeito), ficando, assim, permanentemente atracado no píer a ser construído.

O armazenamento do GNL seria feito apenas na FSRU, que permaneceria atracada no berço, e receberia, por meio da configuração *ship to ship* (transferência entre navios), embarcações supridoras LNGC (*LNG Carriers*) periodicamente a contrabordo, sendo o berço dimensionado para esse tipo de operação (Figura 65).

Figura 65 – Corte típico do píer de GNL com plataforma esqueada ao centro e operações *ship to ship* nos berços

Fonte: autor (2020)

A unidade de processamento da FSRU regaseificaria o GNL e, o gás natural, poderia ser transferido para gasodutos através de Braços de Descarregamento que conectariam a FSRU a gasodutos, os quais transportariam o gás até o *CityGate* de Cubatão.

No berço do terminal, estaria permanentemente atracada uma unidade FSRU, composta por um navio, com as seguintes características:

- Comprimento total (L_{OA}): 292,50 m;

- Boca: 43,42 m;
- Calado Máximo: 12,32 m;
- Capacidade máxima de armazenagem: 170.000 m³

O terminal foi previsto para atracação de uma embarcação FSRU de 170.000 m³ de capacidade de armazenamento e as operações de abastecimento através de navio Metaneiro. Foram considerados 40 navios/ano, com capacidade de 170.000 m³ de GNL.

O Terminal teria capacidade de regaseificação de 14 MM Nm³/dia, perfazendo uma capacidade anual de 3,4 Mt/ano de GNL.

4.9.7 Terminal *onshore* para recepção e expedição de contêineres dentro do estuário

O SOOPS, por tratar-se de um sistema logístico sustentável, necessitaria de conexão com a importante hinterlândia do atual Porto de Santos. Além do terminal *offshore* em águas profunda, e do sistema hidroviário de integração, propõe-se que o terminal *onshore* seja, também, um ponto sustentável e estratégico sob o ponto de vista logístico.

O terminal *onshore* tem a função de elo logístico, no inovador sistema proposto nesta pesquisa, aos antigos modais de transporte, como ferrovias e rodovias. A Figura 66 apresenta a concepção do terminal *onshore* do SOOPS. Nota-se a localização estratégica na margem esquerda do porto, com fácil acesso à ferrovia e rodovia (Figura 2 e Figura 3) e grande área para desenvolvimento ferroviário.

A infraestrutura projetada para o terminal consiste em nove dársenas que possibilitam a atracação de 18 chatas simultaneamente. A operação em paralelo das dársenas está coerente com o estudo logístico hidroviário apresentado nesta pesquisa. A movimentação dos contêineres nas chatas deve ser realizada por equipamentos tradicionais (pórticos rolantes e guindastes), os quais também movimentam as cargas nos pátios de estocagem. A interligação dos pátios com os

modais externos deve ser realizada por caminhões ou pátios de integração com os pontos de carregamentos ferroviários.

A flexibilidade deste terminal encontra-se na reserva de espaço para futuras expansões de grãos. A Figura 66 apresenta o corte típico das estruturas de dársenas descobertas para contêineres e plataforma coberta para operações de grãos e fertilizantes.

A operação ferroviária prevista também apresenta alternativas flexíveis com a possibilidade de peras para descarregamento de grãos por moegas ferroviárias (operação de exportação) e tulhas ferroviárias para carregamento de vagões de fertilizantes (operação de importação). Desta maneira, aumentam-se as possibilidades de negócios e viabilização do sistema completo.

Figura 66 – Terminal *onshore* para chatas de contêineres e futuras dársenas para granéis sólidos (flexibilidade)

Fonte: autor (2020)

4.9.8 CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS E DE PRAZO

Conforme apresentado no Capítulo 2, a adaptação média das obras de acostagem para maiores navios de contêineres de um típico terminal estuarino de dois berços, com 1020,00 m de frente acostável, do Porto de Santos amonta a um investimento da ordem de R\$ 223 milhões. Para manter a cota dos 21 km do canal de acesso em - 17,00 m (CHM – DHN – Marinha), das bacias de evolução e dos berços, estima-se um volume médio anual de dragagem de 9,8 Mm³ in situ (ARGONÁUTICA, 2013), isto é 3,2 Mm³ a mais do que a necessidade atual na cota - 15,00 m (CHM – DHN – Marinha), correspondendo uma despesa estimada em R\$ 107 milhões de reais anualmente,

Para a obra de quebra-mar de parede vertical de caixão concreto armado, incorporando a função de cais para os navios conteneiros estima-se um custo aproximado de R\$ 1,50 bilhão, com menor prazo de execução e menor impacto ambiental do que se a construção fosse de quebra-mar de talude com blocos, pois apesar do maciço ser mais econômico em relação ao caixão de concreto armado, o montante se iguala ao se associar o cais adicional para atracação de navios conteneiros. Este exemplo evidencia como soluções mais sustentáveis, apesar de parecerem mais custosas no primeiro momento, podem apresentar vantagens econômicas quando se agregam outros elementos, como construção (prazos), manutenção e biodiversidades.

Estima-se que o terminal de GNL previsto custe aproximadamente R\$ 230 milhões (incluídos preços de obras civis, equipamentos mecânicos, equipamentos elétricos, tubulação, montagem eletromecânica e indiretos). Nota-se que não estão considerados custos de dragagem, uma vez que o terminal se encontra em águas profundas. Esta vantagem de implantação representa economia de aproximadamente R\$ 90 milhões, caso o mesmo terminal fosse projetado em área estuarina (Alamoia).

À obra civil de quebra-mar e cais para os navios conteneiros devem ser somadas as obras civis para o píer de barcaças, o píer de GNL e o terminal *onshore*, cujo montante pode ser estimado em aproximadamente mais R\$ 0,75 bilhão.

Em termos de unidades náuticas, *Mama Vessel*, rebocadores e chatas, estima-se um montante de mais R\$ 0,75 bilhão.

Equipamentos de movimentação de carga (portêineres, monotrilhos, pontes rolantes, transtêineres, etc.) são estimados em R\$ 3,00 bilhões.

Com estas estimativas, o investimento total no SOOPS seria da ordem de R\$ 6,00 bilhões. Em 56 anos (6 de construção e 50 de concessão), para sustentar a atual alternativa estuarina na cota – 17,00 m (CHM-DHN-Marinha) o custo chegaria a R\$ 6 bilhões,

A taxa interna de retorno do investimento em 50 anos é estimada em 10% nesse modelo de concessão de longo-prazo priorizando a implantação e garantia de operação de um mega terminal a investidores privados. Assim, a atratividade do negócio seria estimulada pelos órgãos concedentes (públicos) por meio de concepções sustentáveis, sobretudo no âmbito financeiro.

O prazo para a implantação do SOOPS é estimado em 6 anos, com concessão proposta para 50 anos.

5 DISCUSSÃO

O desenvolvimento desta pesquisa iniciou dos problemas associados ao Porto de Santos, sobretudo por suas características estuarinas e consequentes limitações de expansão. A linha principal foi a transformação da abordagem de conflito com a Natureza dos conceitos de Construir com a Natureza. Para tanto, propôs-se estudo de caso para um porto em águas profundas (*offshore*), sem necessidade de dragagem de implantação ou manutenção, a exemplo de alguns dos principais portos estuarinos do mundo, visando a atracação de navios contêineres da classe *Triple E*.

A proposta foi conduzida por uma metodologia que buscou a solução sob dois enfoques sustentáveis, quanto à expansão do porto e quanto à solução inovação para o transporte de cargas. O primeiro enfoque abordou a avaliação de diferentes alternativas de arranjos, buscando configurações que atendessem ao critério de abrigo de ondas e profundidade adequada, eliminando a necessidade de dragagens. A partir da melhor alternativa identificada, procedeu-se à definição da área abrigada, compatibilizando-a com as áreas náuticas necessárias para o porte dos navios *Triple E*.

As alternativas de localização do terminal *offshore* na cota - 15,00 m (CHM-DHN-Marinha) se mostraram promissoras no início, porém por questões de obstrução de transportes de sedimentos e, principalmente, por necessidade de maiores dragagens para navios *Triple E*, foram preteridas pela alternativa na cota - 17,00 m (CHM-DHN-Marinha). A contrapartida do afastamento do terminal mais ao largo, em maiores profundidades, foi o sistema de interligação com os terminais *onshore*. O sistema hidroviário LASH foi a alternativa logística mais conveniente, pois as simulações realizadas mostraram que o SOOPS pode acrescentar de 2,48 MTEUs/ano a 4,98 MTEUs/ano na importação e exportação de contêineres do Porto de Santos, sem depender das insustentáveis operações de caminhões por pontes de acesso entre as instalações *onshore* com o terminal *offshore*. O primeiro cenário atenderia à projeção de crescimento para o ano de 2060, entretanto, de acordo com os conceitos de Portos Flexíveis e, diante das incertezas mercadológicas do futuro, as instalações propostas no arranjo do terminal *offshore* podem comportar o dobro de movimentação com acréscimos no número de chatas sem alterar a infraestrutura civil.

Assim, a solução para o transporte de cargas, em mon trilhos com mecanismos de sustentação de contêineres suspensos e transbordo para o terminal *onshore* pelo princípio de emprego do conceito LASH, alia à flexibilidade de um porto *offshore* com a praticidade, fluidez, sustentabilidade e integração limpa do sistema de mon trilhos e LASH.

A outra componente do SOOPS é o terminal *onshore*, responsável por movimentar os contêineres das chatas do *Mama Vessel* dentro do estuário. Evidentemente, as instalações estuarinas são menos robustas, exigem estruturas mais simples e menores profundidades, entretanto localizou-se o terminal *onshore* junto à área do atual aeroporto da Base Aérea de Santos onde, além de fácil acesso à ferrovia, tem-se importante área para execução de ramais e peras ferroviárias. A flexibilização pensada para a concepção do terminal *onshore* fica evidente na consideração de espaços para futuros terminais de granéis sólidos (sobretudo grãos e fertilizantes), que poderiam usufruir do SOOPS. Desta maneira, as operações seriam similares às operações clássicas hidroviárias, por meio de chatas, empurradores e comboios tradicionais para granéis.

A concepção de operação hidroviária pelo sistema de LASH reconhecidamente tem um custo operacional alto, por exigir rebocadores auxiliares para a movimentação das barcas, demoras na operação de lastreamentos e deslastreamentos do *Mama Vessel* para entrada e saída das barcas. Uma alternativa possivelmente mais vantajosa, pela maior simplicidade operacional, seria o emprego de comboio marítimo articulado barcaça-empurrador, o que deve ser objeto de avaliação em trabalhos futuros.

Em termos econômicos, as estimativas efetuadas apontam que o investimento efetuado com a concepção em Porto Sustentável se pagaria após cerca de meio-século. Nesta estimativa não foram computadas compensações tangíveis, como os créditos de carbono gerados no emprego de combustíveis não emissores de gases do efeito estufa, a muito maior possibilidade de produtividade, segurança e economia de escala na operação com contêineres da classe *Triple E*, o que propiciará muito maior arrecadação de taxas portuárias por parte dos investidores e a autossuficiência energética do SOOPS com energia limpa. As compensações intangíveis praticamente se relacionam com a ausência da necessidade de dragagens de manutenção.

Consequentemente, o retorno do investimento poderá ocorrer muito antes do que o previsto.

6 CONCLUSÃO

Ficou evidente ao longo do desenvolvimento da pesquisa que há inúmeras variáveis de difícil ponderação que devem ser incluídas para determinar a melhor solução para problemas recorrentes. Apesar de cada porto possuir características e problemas próprios, os portos estuarinos ao redor do mundo têm enfrentado desafios similares, como a dificuldade de expansão devido ao confinamento da infraestrutura dentro do estuário. Assim, foi desenvolvido um modelo locacional de expansão que sirva de referência para outros portos estuarinos que enfrentam desafios similares aos do Porto de Santos, com o intuito de trazer um primeiro direcionamento à solução do problema, com uma visão sustentável e futurista, porém sempre passível de implantação e viável economicamente. Também, buscou-se explicitar as dificuldades enfrentadas, as soluções eliminadas e as razões do porquê destas eliminações, a fim de formalizar um conceito geral e sólido sobre a expansão de portos estuarinos confinados por áreas urbanas.

Espera-se também, com a conclusão deste trabalho, que se incentive o desenvolvimento e a busca por novas soluções para o Porto de Santos, que está à beira da saturação, dando a devida atenção a este que é o maior porto do Hemisfério Sul.

De acordo com o relato desta pesquisa, conclui-se que o SOOPS representa alternativa sustentável para o desenvolvimento do Porto de Santos para as próximas décadas. A aplicação das referências bibliográficas proporcionou reflexões importantes sobre o atual paradigma das instalações portuárias e como os aspectos de Engenharia Contemporânea são as alavancas para a Engenharia do futuro. Ressalta-se a quebra do paradigma que soluções sustentáveis são mais caras, pois evidenciou-se que o porto *offshore*, apesar de oneroso no primeiro momento (CAPEX), apresenta promissora tendência de viabilidade econômica se avaliada dentro do contexto global, considerando os custos de dragagem em longo-prazo, impactos ambientais, sociais e maior competitividade do Porto de Santos.

Importante ressaltar que a análise deste estudo é limitada ao contexto apresentado, no entanto pode embasar futuros trabalhos a serem realizados, reservando-se as particularidades de cada localidade e porto.

7 REFERÊNCIAS

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. ; MOREIRA, A. S. . Design Tide and Wave for Santos Offshore Port (Brazil) Considering Extreme Events in a Climate Changing Scenario. In: XIth International Conference TRANSNV on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 2015, Gdynia. Proceedings, 2015.

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E.; MOREIRA, A. “The future of Santos Harbour (Brazil) outer Access Channel”. Marine Navigation and Safety of Sea Transportation.2014.

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. Engenharia Portuária-Manual Técnico. 2ª. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda., 2018.

ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários. 2020. <http://portal.antaq.gov.br/index.php/acesso-a-informacao/institucional/> (acesso em 9 de 12 de 2020).

ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários. “Anuário Estatístico 2019.” 2019.

ARAUJO, F.H.C.B. “Sistema Portuário Brasileiro Evolução e Desafios.” Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Florianópolis, 2013.

ARAÚJO, R.N. “A propagação e deformação das ondas, a dinâmica do transporte litorâneo e a evolução de linhas de costa em localidades do Litoral Paulista”. Tese de Doutorado apresentada à Escola Politécnica da USP, 2005.

ARGONÁUTICA Engenharia e Pesquisas 2013. “Estimativa da taxa de dragagem anual de manutenção do canal de acesso e bacias de evolução do Porto de Santos após a obra de dragagem de aprofundamento para cota – 15,00 m (DHN) e alargamento”.

ASHAR, Asaf. “Long-term Trends in container shipping-the revised Fourth Revolution.” 2013. <http://www.asafashar.com/publications.html> (acesso em 2020).

ATP- Associação de Terminais Portuários privados. 9 de 12 de 2020. <https://portosprivados.org.br/atp/sobre-a-atp> (acesso em 9 de 12 de 2020).

AUTORITÀ PORTUALE DI VENEZIA. “Terminal Container D’Altura Di Venezia - Relazione Illustrativa - Vol. 01.” Direzione Pianificazione Strategica e Sviluppo, Venezia, 2012.

AUTORITÀ PORTUALE DI VENEZIA. “Terminal Plurimodale Offshore Al Largo Della Costa Di Venezia - Integrazioni Relative All’Area Montesyndial.” Sintesi non Tecnica, Venice Newport Container and Logistics, Venezia, 2012b.

BALLOU, R H. “Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física.” 2003.

BOLAM, S. G. "Ecological consequences of dredged material disposal in the marine environment: A holistic assessment of activities around the England and Wales coastline." 2006.

BRIENE, M. "Strategie planmatige zandwinning, belangenafweging en instrumentarium." 2011.

CHASE, R. B., F. R. Jacobs, e N. J. Aquilano. Operations Management for competitive Advantage. NY: McGraw-Hill/Irwin, 2006.

CODESP. Resumo completo da História do Porto de Santos. 2017. <http://www.portodesantos.com.br/historia.php> (acesso em 26 de 06 de 2017).

DE VRIEND, H. J. M.; VAN KONINGSVELD, S.G.J.; AARNINKHOLF, M. B.; DE VRIES; BAPTIST, M. J.. "Sustainable hydraulic engineering through building with nature." Journal of Hydro-environment Research, 2014: 1-13.

DELTARES. DeltaLife - Deltares Magazine Nº2-. 2014. <https://media.deltares.nl/deltalife/2014/2/en/#18-19> (acesso em 8 de 12 de 2020).

DEWAR, J. Assumption-Based Planning: A Planning Tool for Reducing Avoidable Surprises. Cambridge University Press, 2002.

DOHLIE, Knut A. The future of the Ultra Large Container ship. DNV Container Ship Update N 3, 2009.

EAGLERAIL. 2020. <https://www.eaglerail.com/> (acesso em 12 de 10 de 2020).

EGYEDI, T. Standards enhance system flexibility. 2002. <<http://www.tudelft.nl/live/binaries/0b330c26-def4-45e3-a367-43b61bf0ae45/doc/mapping.pdf>>.

GOOGLE MAPS. 2020. <https://www.google.com.br/maps/@-23.9611715,-46.3025677,23146m/data=!3m1!1e3> (acesso em 2 de 11 de 2020).

Governo do Estado do Ceará. 10 de 12 de 2020. https://www.ceara.gov.br/wp-content/uploads/2017/10/IMG_2809.jpg (acesso em 10 de 12 de 2020).

JONG, M.P.C; WEILER, O. M.; SCHOUTEN J. "Open Water ports- a sustainable design approach." Third International Engineering Systems Symposium- CESUN, Delft University of Technology-Special Session on Sustainable Ports and Waterways. Delft, 2012. 11.

KAMPERLAAN, E. "Showcase Megaproject Management- Maasvlakte." Project Manager Magazine, 2005: 12-17.

LOPES, J.C.R. "Projeto de embarcações articuladas: empurrador e barça oceânica". Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito para a obtenção da categoria de Capitão de Cabotagem no Curso de Aperfeiçoamento para Oficial de Náutica. Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Curso de Aperfeiçoamento para Oficial de Náutica, 2012.

MACHADO, I.S. de. "O Porto de Santos e a Revolução dos contêineres." Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MAES, F., e J. Schrijvers. "Towards a Spatial Structure Plan for Sustainable Management of the Sea: Mixed actions." 2005.

MARITIME PORT AUTHORITY OF SINGAPORE. PORT STATISTICS. 2009. http://www.mpa.gov.sg/sites/global_navigation/publications/port_statistics/port_statistics.page (acesso em 13 de 3 de 2019).

MERCOPRESS. 9 de 01 de 2018. <https://en.mercopress.com/2018/01/09/temer-investigated-on-decree-allegedly-benefitting-santos-port-operator> (acesso em 10 de 12 de 2020).

Mesquita, Mario. Texto para discussão nº 569. Brasil 1961-1964: Inflação, estagnação e ruptura. 2010. www.econ.puc-rio.br (acesso em 01 de 04 de 2015).

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. "Plano Mestre do Complexo Portuário de Santos". 2019.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. 09 de 12 de 2020. <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transporte-aquaviario/sistema-portuario> (acesso em 09 de 12 de 2020).

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E TRASPORTI, MAGISTRATO ALLE ACQUE DI VENEZIA. Autorità Portuale di Venezia. "Relazione Tecnica Intruttoria-Terminal Plurimodale Off-Shore al largo della costa Veneta composto da Diga Foranea, Terminal Petrolifero Terminal Container d'Altura e Terminal In-Shore in area Ex Syndial." 2013.

MOREIRA, A. Metodologia aplicada para obter um sistema de indicadores de porto concentrador de carga. Tese de Doutorado, Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, 2009.

NOTTEBOOM, T., e J. P. Rodrigues. "Port Regionalization: towards a new phase in port development." 2005.

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. 2020. <https://data.oecd.org/> (acesso em 12 de janeiro de 2021).

PIANC - The World Association for Waterborne Transport Infrastructure. "Criteria for the (UN)loading of container vessels." 2012.

PIANC-The World Association for Waterborne Transport Infrastructure. Working Group 150 -Sustainable Ports- A guide for Port Authorities. Bruxells: IAPH Envicom Report Working Group 150, 2014b.

PIANC - The World Association for Waterborne Transport Infrastructure. Harbour approach channels design guidelines. Bruxelles: Report 121, 2014c.

PIANC - The World Association for Waterborne Transport Infrastructure. Task Group 181 -The State and perspectives of waterborne transport infrastructure worldwide. Brussels: PIANC HQ, 2018.

PIANC - The World Association for Waterborne Transport Infrastructure. Guide for applying working with nature to navigation infrastructure projects. Brussels: Envicom WG-Report nº 176, 2018b.

PORT OF ROTTERDAM AUTHORITY. 01 de 01 de 2021. <https://www.portofrotterdam.com/en> (acesso em 01 de 01 de 2021).

PORTO, M. M. "Porto e o Desenvolvimento." São Paulo, 2007.

ROS, R., P. TANEJA, e T. VELLINGA. "Multi-functional use of port areas." Third International Engineering Systems Symposium-CESUN 2012. Delft: Delft University of Technology, 2012.

SANTOS PORT AUTHORITY. 2021. <https://www.portodesantos.com.br/conheca-o-porto/historia-2/> (acesso em 03 de 01 de 2021).

SANTOS PORT AUTHORITY. "Mensário Estatístico- novembro de 2020." DINEG/SUPOR/ Gerência de Inteligência de Mercado e Estatísticas (GERIN), 2020.

SCHIPPER, C. A., S. Vergouwen, e S. Minderhoud. "Port of the Future." 2015.

SCHOLTES, S. "Flexibility: The secret to transforming risk into opportunities." Business Digest , nº N°174:6 (2007).

STRONKHORST, J. "Environmental impact and recovery at two dumping sites for dredged material in the North Sea. Environmental Pollution." 2003.

SUPRANI, R. O. "O investimento em infraestrutura: desenvolvimento, comércio exterior e o caso brasileiro." Dissertação de Mestrado, UFRJ- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Rio de Janeiro, 2012.

TANEJA, P. "The Flexible Port." Tese de Mestrado, Delft, 2013.

TANEJA, P., T. Vellinga, e R. Ros. "Role of Flexibility in Sustainable Port Development." Third International Engineering Systems Symposium- CESUN 2012. Delft: Delft University of Technology, 2012.

THE WORLD BANK. "Inclusive Green Growth-The Pathway to Sustainable Development." International Bank for Reconstruction and Development / International Development Association or The World Bank, Washington DC, 2012.

UNCTAD- United Nations Conference on Trade and Development. "Review of Maritime Transport 2018." United Nations Publications, Geneve, 2020.

UNEP. "Taking Steps toward Marine and Coastal Ecosystem-Based Management - An Introductory Guide." 2011.

VELLINGA, Tiedo. "Green Ports - Fiction, condition or foregone conclusion?" Faculty of Civil Engineering and Geosciences, TU Delft, Delft, 2011.

VESSEL TRACKING. 08 de 12 de 2020. <http://www.vesseltracking.net/article/biggest-container-ship> (acesso em 08 de 12 de 2020).

WALKER, W. E. Uncertainty in the framework of policy analysis In Public Policy Analysis: New Developments. New York: Springer, 2012.

WALSH, B. "Why the future belongs to jellyfish." 2015.