

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ANDRÉ GONÇALVES FARIA

PEDRO THIAGO FRANCO PAIVA

RODRIGO YUITI HIRAI

**Porto de águas profundas com transporte de contêineres via monotrilho:
estudo de caso para o Porto de Santos**

São Paulo

2018

ANDRÉ GONÇALVES FARIA

PEDRO THIAGO FRANCO PAIVA

RODRIGO YUITI HIRAI

**Porto de águas profundas com transporte de contêineres via monotrilho:
estudo de caso para o Porto de Santos**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Engenharia Portuária

Orientador: Prof. Dr. Paolo Alfredini

Co orientador: Prof. MSc. Diego Lourenço
Cartacho

São Paulo

2018

ANDRÉ GONÇALVES FARIA

PEDRO THIAGO FRANCO PAIVA

RODRIGO YUITI HIRAI

**Porto de águas profundas com transporte de contêineres via monotrilho:
estudo de caso para o Porto de Santos**

Comissão julgadora

Prof. Mestre Diego Lourenço Cartacho

Prof. Doutor José Carlos de Melo Bernardino

Prof. Doutor Paolo Alfredini

São Paulo

2018

AGRADECIMENTOS

Aos nossos familiares, pelo constante apoio em todos os momentos e pelo auxílio na nossa formação.

Ao Professor Mestre Diego Lourenço Cartacho, pela oportunidade da realização deste trabalho e por nos conduzir tão bem ao longo de toda esta etapa.

Ao Professor Doutor Paolo Alfredini, por nos ajudar sempre com seus vastos conhecimentos na área portuária, dando todo suporte para que criássemos um trabalho sintonizado com a vanguarda técnica da Engenharia Portuária. Com a chance de apresentá-lo no XIII SILUSBA (Simpósio da Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa).

Ao Professor Doutor José Carlos de Melo Bernardino por nos prestigiar participando da Banca Julgadora e pelos conhecimentos passados durante nossa jornada na Escola Politécnica.

À *EagleRail Container Logistics* por nos apresentar esta importante tecnologia que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho e a oportunidade de apresentá-lo na *The Ocean Conference*, sede da Organização das Nações Unidas, em Nova York, Junho de 2017.

A Escola Politécnica da Universidade de São Paulo por nos disponibilizar toda a infra-estrutura necessária para a realização deste trabalho e de toda nossa formação.

RESUMO

O presente trabalho buscou aliar conceitos já desenvolvidos em portos estuários do mundo e conceitos inovadores de desenvolvimento portuário para buscar uma solução que fosse ao mesmo tempo sustentável e economicamente viável para a expansão do Porto de Santos. Foram trabalhados alguns conceitos como o de porto concentrador de carga (*hub port*), Porto do Futuro e Porto Flexível e, através deles, foi desenvolvida uma sistemática de abordagem dos atuais problemas do Porto e possíveis formas de solucioná-lo. Tomou-se como possível solução o desenvolvimento do Porto para mar aberto, com um layout *offshore* que possibilitaria a flexibilização de uma expansão futura. Porém, para uma expansão não reentrante na costa, foi necessário também desenvolver e trabalhar uma solução para o transporte de cargas do Porto até a área de estocagem de contêineres nas estruturas já consolidadas no estuário. Assim, este trabalho se inicia com a identificação dos atuais problemas do Porto de Santos, passando por uma revisão bibliográfica e se desenvolvendo na metodologia de abordagem do problema, proposição e análise da solução de expansão conjuntamente com a proposição de transporte sustentável de cargas de *offshore* para *onshore*. Posteriormente o foco se volta para o dimensionamento da estrutura necessária para suportar o monotrilho, assim como o dimensionamento do porto *offshore* propriamente dito. No presente estudo, no entanto, não foi contemplado uma análise econômica para avaliar a taxa de retorno financeira advinda das operações do monotrilho e do quebra-mar, assim, não sendo possível verificar o tempo de retorno da obra de modo a avaliar de forma precisa quanto tempo seria necessário para que a obra atinja o *break even point*.

Keywords: Porto de Santos, Portos Flexíveis, Porto do Futuro, expansão, *offshore*, sustentável, estuário, alto mar, porto concentrador, problemas atuais.

ABSTRACT

This work aimed at joining already developed concepts from European estuarine ports and innovative concepts of port development to search for a solution that could be at the same time sustainable and cost-effective for the expansion of the Port of Santos. It was developed some concepts as the hub port concept, Port of the Future and Flexible Ports and, through them, it was created a systematic to approach the current issues of the Port and some possible ways to solve them. It was considered as a possible solution the development towards the open sea, with an offshore layout that would allow the flexibilization of a future expansion. However, to an offshore expansion, it was also necessary to develop and work on a solution for cargo transportation from the Port to the storage area in the facilities on the estuary. Thus, this work begins with the analysis of the current issues of the Port of Santos, going through literature review and developing itself on the problem approach methodology, proposing and analyzing the expansion solution along with the proposition and analysis of the sustainable cargo transportation from offshore to onshore. Then, the target becomes designing the structure to withstand the monorail, as well as designing the breakwater itself. In the present project, the economical analysis to assess the return on investment rate from the monorail operations and from the breakwater activities was not done due to the lack of information available.

Keywords: Port of Santos, Flexible Ports, Port of the Future, expansion, offshore, sustainable, estuary, open sea, hub port, current issues, deep water ports.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução das embarcações de contêiner	21
Figura 2 - Movimentação de carga no ano de 1960 no Porto de Roterdã	24
Figura 3 - Evolução do tamanho das embarcações de contêineres	24
Figura 4 – Pátio de estocagem do terminal do porto <i>offshore Maasvlakte 2</i> , Porto de Roterdã	25
Figura 5 - Canal do Porto de Santos visto na carta náutica	30
Figura 6 - Características do canal do Porto de Santos	31
Figura 7 - Terminal de contêiner	32
Figura 8 - Características do atual Porto de Santos	33
Figura 9 - Comparativo entre portos brasileiros	33
Figura 10 - Vista da saída do canal do Porto de Santos	37
Figura 11 - Port planning process	39
Figura 12 - Diagrama que relaciona organizações marítimas internacionais, ONGs e bancos que deram início a iniciativas de sustentabilidade	51
Figura 13 - Localização dos campos eólicos já planejados e realizados	53
Figura 14 - Vista do campo eólico localizado na rodovia N15, <i>Maasvlakte 2</i>	54
Figura 15 - Vista aérea do <i>Maasvlakte</i>	54
Figura 16 - Serviços ecossistêmicos comuns aos ecossistemas costeiros	62
Figura 17 - Mapa da região a ser implantada a obra	77
Figura 18 - Layout 1: representação do quebra-mar na Carta Náutica	79
Figura 19 - Layout 1: representação 3D do quebra-mar	79
Figura 20 - Layout 2: representação do quebra-mar na Carta Náutica	81
Figura 21 - Layout 2: representação 3D do quebra-mar	81
Figura 22 - Layout 3: representação do quebra-mar na Carta Náutica	83
Figura 23 - Layout 3: representação 3D do quebra-mar	84

Figura 24 - Modelagem 3D da solução final do porto <i>offshore</i>	84
Figura 25 - Diagrama de Wiegel 45° utilizado para o dimensionamento do abrigo ...	85
Figura 26 - Sobreposição do diagrama de Wiegel na carta náutica	87
Figura 27 - Rosa de altura de ondas do Porto de Santos	88
Figura 28 - Rosa de período de ondas do Porto de Santos	88
Figura 29 - Modelagem da solução final do porto <i>offshore</i> - Detalhe do berço	89
Figura 30 - Modelagem da solução final do porto <i>offshore</i> - Detalhe do monotrilho	100
Figura 31 - Modelagem da solução final do porto <i>offshore</i> - Detalhe da movimentação de carga	100
Figura 32 - Alternativas de traçados avaliadas.....	101
Figura 33 - Vista 3D do traçado 3.....	102
Figura 34 - Foto aérea feita por meio de drone	102
Figura 35 - Resumo dos perfis dos traçados.....	105
Figura 36 - Interferência do traçado com o late Clube de Guarujá.....	107
Figura 37 - Interferência do traçado com o estádio de futebol	108
Figura 38 - Área a ser desmatada na implantação do traçado 1 (área correspondente aos polígonos desenhados em amarelo)	111
Figura 39 - Área a ser desmatada na implantação do traçado 2.....	111
Figura 40 - Área a ser desmatada na implantação do traçado 3.....	111
Figura 41 - Área a ser desmatada na implantação do traçado 4.....	112
Figura 42 - Área a ser desmatada na implantação do traçado 5.....	112
Figura 43 - Área a ser desmatada na implantação do traçado 6.....	112
Figura 44 - Área a ser desmatada na implantação do traçado 7.....	112
Figura 45 - late Clube de Santos.....	114
Figura 46 - Quebra mar - Planta.....	117
Figura 48 - Calculadora de bloco de armadura	119

Figura 49 - Resultados da formula de Hudson e resultados obtidos da calculadora CLI	120
Figura 50 - Quadro resumo da armadura adotada	121
Figura 51 - Quadro resumo da subcapa e núcleo	121
Figura 52 - Corte – Seção AB	122
Figura 53 - Corte - Seção CD	122
Figura 54 - Corte - Seção do cabeço 1	123
Figura 55 - Corte - Seção do cabeço 2	123
Figura 57 Plastificação correspondendo ao fator de segurança de 1,09 – Plaxis 2D	125
Figura 58 - Analise de estabilidade - $FS = 1,076$ – Slide 5.0.....	126
Figura 59 - Seção da transversal do cabeço 2 com berma	127
Figura 60 - Analise de estabilidade - $FS = 1,2$ – Slide 5.0.....	127
Figura 61 - Geometria, nível d'água e sobrecarga - modelo no programa – Geo5 ..	129
Figura 62 - Campo de tensões na fundação – Geo5.....	129
Figura 63 - Campo de deslocamentos na fundação – Geo5	130
Figura 64 – Deslocamento vertical: -1,21 m – Plaxis 2D	130
Figura 65 Deformação Horizontal: 0,8m – Plaxis 2D.....	131
Figura 67 - Momento fletor máximo na base do pilar (kN.m).....	135
Figura 68 - Cortante máxima no pilar (kN)	135
Figura 69 - Diagrama de força normal da combinação crítica (kN)	136
Figura 70 - Representação da estrutura típica de suporte das vigas do monotrilho	137
Figura 71 - Localização das pedreiras	138
Figura 77 - Fotos aéreas da região	143
Figura 78 - Batelhão tipo split.....	144
Figura 79 - Guindaste orange peel grab.....	144
Figura 84 - Imagem aérea da da Embraport e da pedreira MaxBrita	149

Figura 85 - Imagem aérea da área de locação pertence à Wilson & Sons150

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Evolução da movimentação de carga nos portos ao longo do século XX para portos de grande porte	22
Tabela 2: Fases importantes do sistema portuário brasileiro	28
Tabela 3: Movimentação brasileira de contêineres – 2007-2011	34
Tabela 4 - Medidas para redução dos efeitos da operação portuária	70
Tabela 5 - Matriz de decisão para avaliação das alternativas	82
Tabela 6 - Características gerais das embarcações usadas no dimensionamento das áreas náuticas	89
Tabela 7 - Fatores para o dimensionamento da profundidade do canal de acesso ..	92
Tabela 8 – Fatores para dimensionamento da largura do canal externo	93
Tabela 9 - Fatores para dimensionamento da largura do canal interno	93
Tabela 10 - Cálculo da profundidade requerida na bacia de evolução.....	94
Tabela 11 - Cálculo da profundidade requerida na bacia de espera	95
Tabela 12 - Cálculo da profundidade requerida no berço de acostagem	96
Tabela 13 - Resumo das dimensões dos canais e das bacias.....	96
Tabela 14 - Tabela resumo dos comprimentos dos traçados.....	106
Tabela 15 - Área a ser desmatada em cada opção de traçado.....	112
Tabela 16 - Descrição dos pesos adotados na matriz de decisão	115
Tabela 17 - Matriz de decisão	115
Tabela 18 - Resumo das notas de cada traçado.....	116
Tabela 19 - Parâmetros dos blocos pré-moldados de concreto	119
Tabela 20 - Parâmetros de resistência e deformabilidade utilizados na análise	124
Tabela 21 - Tipos, capacidades e medidas de contêineres	133
Tabela 22 - Preço demandado por pedreiras avaliadas	140

Tabela 23 - Distâncias até terminal e volumes necessários por trecho.....	140
Tabela 24 - Majoração dos volumes de material por trecho.....	141
Tabela 25 - Volume necessário de material considerando efeito de agulhamento .	141
Tabela 26 - Preço total do material utilizado	141
Tabela 27 - Preço total pelo uso de equipamentos	146
Tabela 28 - Quadro resumo das quantidades e características de elementos estruturais.....	147
Tabela 29 - Preço unitário por elemento estrutural	148
Tabela 30 - Custo total da obra referente ao monotrilho	148
Tabela 31 - Custo global do projeto	150
Tabela 32 - Dados básicos do projeto	150

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABP	:	Assumption-Based Planning
ANTAQ	:	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
APM	:	Adaptive Policy Making
APP	:	Adaptive Port Planning
CDS	:	Companhia Docas de Santos
CEDA	:	Central Dredging Association
CEO	:	Chief Executive Officer
CODESP	:	Companhia Docas do Estado de São Paulo
CONAMA	:	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DHN	:	Diretoria de Hidrografia e Navegação
E.g.	:	Exempli gratia
EBM	:	Ecosystem-based management
ESPO	:	European Sea Ports Organisation
IBAMA	:	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ISO	:	International Organization for Standardization
LI	:	Licença de Instalação
LO	:	Licença de Operação
LP	:	Licença Prévia
MARPOL	:	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
NY	:	New York
OCDE	:	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
OECD	:	Organisation for Economic Co-operation and Development
OMI	:	Organização Marítima Internacional
ONG	:	Organização não governamental

ONU	:	Organização das Nações Unidas
OSPAR	:	Convenção para a Protecção do Meio Marinho do Atlântico Nordeste
PAH	:	Polycyclic aromatic hydrocarbon
PCB	:	Polychlorinated biphenyl
PIANC	:	Permanent International Association of Navigation Congresses
PIB	:	Produto Interno Bruto
POP	:	Persistent organic pollutant
Pp	:	Perpendiculares
ROM	:	Recomendaciones para Obras Marítimas
S.A.	:	Sociedade Anônima
SCBA	:	Social Cost Benefit Analysis
TBT	:	Tributyltin
TEUs	:	Twenty-foot Equivalent Unit
TU Delft	:	Technische Universiteit Delft
UNCTAD	:	United Nations Conference on Trade and Development
UNEP	:	United Nations Environment Programme
WWF	:	World Wide Found for Nature

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	16
2.	JUSTIFICATIVA.....	19
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
3.1.	HISTÓRIA DA NAVEGAÇÃO.....	20
3.1.1.	EVOLUÇÃO DAS ATIVIDADES DE NAVEGAÇÃO.....	20
3.1.2.	EVOLUÇÃO DOS PORTOS NO BRASIL	25
3.1.3.	O PORTO DE SANTOS.....	28
3.2.	PROBLEMAS ATUAIS	35
3.3.	PORTOS FLEXÍVEIS.....	38
3.3.1.	CONCEITO DE PORTOS FLEXÍVEIS.....	38
3.3.2.	O PAPEL DOS PORTOS FLEXÍVEIS NO CENÁRIO ATUAL	40
3.3.3.	RISCOS ASSOCIADOS.....	41
3.3.4.	ASPECTOS AMBIENTAIS	42
3.3.5.	CONCEITO TRADICIONAL DE PLANEJAMENTO PORTUÁRIO	42
3.3.6.	FLEXIBILIDADE PRESENTE NOS PLANOS DIRETORES	43
3.3.7.	UM MODELO ESTRUTURAL PARA GERENCIAR INCERTEZAS	44
3.3.8.	A FLEXIBILIDADE NA INFRAESTRUTURA PORTUÁRIA	45
3.3.9.	ASPECTOS ESSENCIAIS RELACIONADOS À FLEXIBILIDADE	47
3.3.10.	ANÁLISE DOS RISCOS	48
3.3.11.	IMPLEMENTING ADAPTATIVE PORT PLANNING.....	49
3.4.	PORTO DO FUTURO	50
3.4.1.	INTRODUÇÃO:	50
3.4.2.	INFLUÊNCIA E PRESSÃO DO DESENVOLVIMENTO PORTUÁRIO SOBRE O ECOSISTEMA COSTEIRO E ESTUARINO:	55
3.4.3.	INFLUÊNCIA DO MEIO FÍSICO SOBRE OS PORTOS:	56

3.4.4. MODELOS DE GESTÃO E GOVERNANÇA:	58
3.4.5. FUNDAMENTAÇÃO SÓCIO-ECONÔMICA DO DESENVOLVIMENTO PORTUÁRIO	61
3.4.6. APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO NO PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO DO PORTO 'SEM-IMPACTO'	71
3.4.7. CONCLUSÕES:	73
3.5. PORTO CONCENTRADOR DE CARGA E CABOTAGEM	75
4. DESENVOLVIMENTO	76
4.1. ANÁLISE DA SOLUÇÃO <i>OFFSHORE</i>	76
4.1.1. INTRODUÇÃO	76
4.1.2. METODOLOGIA.....	77
4.1.2.1. Definição do Layout	78
4.1.2.2. Abrigo de Ondas	84
4.1.2.3. Dimensionamento das Áreas Náuticas	89
4.2. ANÁLISE DO TRANSPORTE	97
4.2.1. INTRODUÇÃO	97
4.2.2. SISTEMA DE TRANSPORTE DE CARGAS VIA MONOTRILHO: O <i>EAGLERAIL</i>	98
4.2.3. METODOLOGIA.....	100
4.2.3.1. Traçados	101
4.2.3.2. Matriz de Decisão	103
5. DIMENSIONAMENTO DO QUEBRA-MAR.....	117
5.1. DEFINIÇÃO DA SEÇÃO TÍPICA	117
5.2. DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA.....	118
5.2.1. PESO DOS BLOCOS	118
5.2.2. ESPESSURA.....	120
5.3. FUNDAÇÃO DO QUEBRA-MAR.....	123
5.3.1. ANÁLISE DE ESTABILIDADE (ELU)	124

5.3.2. ANÁLISE DOS RECALQUES (ELS)	128
5.4. VOLUMES	131
6. DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DO MONOTRILHO E TRANSPORTADORES.....	133
6.1. DEFINIÇÃO DA SEÇÃO TÍPICA DOS PILARES, VIGAS E BLOCOS DE FUNDAÇÃO.....	133
6.1.1. PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS PILARES.....	134
6.1.1. PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS BLOCOS	136
6.1.2. PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS ESTACAS	136
7. CUSTOS – ANÁLISE PRELIMINAR DA VIABILIDADE TÉCNICA	138
7.1. PORTO OFFSHORE	138
7.2. MONOTRILHO.....	146
8. ANÁLISE.....	152
9. CONCLUSÃO	154
10. REFERÊNCIAS	155

1. INTRODUÇÃO

Levando em conta que o papel da infraestrutura nos países em desenvolvimento vai além de investimentos em energia, telecomunicações e transporte; ela representa uma maneira de integração territorial, de estímulo à economia e criação de empregos. Especificamente, os portos representam elementos importantes na cadeia logística dos países por serem elos fundamentais de diferentes modais de transporte, além de influenciarem significativamente no comportamento da sociedade e meio ambiente. Apesar do crescente comércio global marítimo, a ideia que portos são somente locais onde os navios são carregados e descarregados está, gradativamente, sendo ampliada por um conceito maior, o qual exige uma abordagem mais sistêmica e transparente; Portos Sustentáveis. 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.

No contexto brasileiro, o desenvolvimento da infraestrutura, historicamente, apresentou lacunas relevantes, sobretudo por indefinições, incertezas políticas e falta de planejamento em longo-prazo. Os investimentos em infraestrutura são regidos pela pressão econômica, causadas pela depreciação da capacidade instalada das mesmas; à medida que o país necessita de investimentos, esses são feitos com restrita abordagem sistêmica. Portanto, crescimento econômico e desenvolvimento sustentável representam um dos maiores desafios a serem aplicados conjuntamente nas próximas décadas, sobretudo nas áreas portuárias que apresentam relevantes interações entre Homem e Meio Ambiente. Apesar de esses dois movimentos parecerem antagônicos e divergentes, propõe-se neste estudo que desenvolvimento sustentável representa um caminho importante para alcançar o crescimento econômico e, sobretudo, fator chave para as atividades comerciais e operacionais. Por conseguinte, 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.

As atividades associadas ao desenvolvimento dos portos, como necessidade de terras, dragagens e implantação de novas infraestruturas, 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, iniciativas recentes, como os conceitos de construir com a Natureza (*Building with nature*), Portos Flexíveis (*Flexible Ports*) e Portos Sustentáveis (*Sustainable Ports*), visam quebrar esse paradigma com 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.

No dia 2 de fevereiro de 2017, o Porto de Santos completou 125 anos como porto organizado. Durante este período, por meio de mais de 14 quilômetros 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, os quais necessitam 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 (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. Sugere-se uma quebra do atual modelo de desenvolvimento, rumo ao interior do Estuário de Santos, para um crescimento em direção ao mar (águas profundas), aos moldes dos principais portos do mundo (Roterdã, Le Havre, Shangai, Singapura e Los Angeles).

Diante deste contexto, esta pesquisa apresenta um novo modelo de desenvolvimento para o Porto de Santos, seguindo os mais recentes e inovadores conceitos de Portos Sustentáveis, por meio de: (1) integração de novas tecnologias de transporte de carga; (2) novo posicionamento de berços de atracação em águas profundas; (3) minimização de impactos ambientais em ambientes costeiros; (4) diminuição da necessidade de dragagens e, (5) maior capacidade tecnológica de recebimento de navios de grande porte com calados da ordem de 18 metros. 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 abor-

dagem de Porto do Futuro (*Port of the future*), esta pesquisa baseia-se no desenvolvimento das infraestruturas portuárias em águas profundas, criando espaço para o reestabelecimento ambiental e social dentro do estuário.

Adiciona-se ao conceito original de Porto do Futuro, o elemento de conexão entre as áreas secas (*onshore*) com as instalações em águas profundas (*offshore*). Neste ponto agrega-se a tecnologia do monotrilho, de forma a propiciar que as pontes convencionais de concreto sejam substituídas por monotrilhos multiuso, com energia limpa e menor impacto na dinâmica costeira. Portanto, propõe-se a quebra de paradigma: substituição do modal rodoviário de transporte de contêineres por uma solução inovadora de movimentação de cargas via monotrilhos.

Concebido como uma solução para terminais portuários, o *EagleRail* busca se apresentar como uma alternativa mais limpa do que o tradicional uso de caminhões para o transporte de containers. Todavia, pode-se imaginar um plano mais amplo, executado em três períodos: (I) atendimento dos terminais portuários no curto-prazo; (II) interligação dos terminais em um grande sistema que permitiria a subida da Serra do Mar, conectando os terminais da Baixada Santista à uma grande plataforma logística em São Paulo e que buscaria reduzir o trânsito de veículos nas rodovias do Sistema Anchieta-Imigrantes no médio-prazo; e (III) interligação final com o porto *offshore* proposto neste trabalho.

2. JUSTIFICATIVA

Atualmente, o Porto de Santos está confinado em uma estreita área estuarina limitada pelos Municípios de Santos e Guarujá. O porto também apresenta um elevado volume de dragagem; 7 milhões de m³/ano (ALFREDINI; ARASAKI; MOREIRA, 2013), para manter a profundidade do canal na cota - 15 metros (DHN). De acordo com a previsão logística, dever-se-á aprofundar o canal de forma a se obter uma profundidade de 17 metros para que se possa receber navios de maior porte, tal como o *Post Panamax Plus*. Contudo, a manutenção de tal profundidade pode se mostrar extremamente custosa. Portanto, com o intuito de contornar os problemas atuais mencionados, a solução do porto *offshore* surge de alternativamente.

Considerando-se o conceito de centros logísticos às estruturas portuárias, verifica-se a necessidade constante de adaptar os sistemas e as redes de transportes terrestre e marítimo de modo que a circulação de cargas e de pessoas seja otimizada. Diante dessa situação, este trabalho propõe desenvolver uma solução inovadora baseada na implantação de um sistema de movimentação de carga via monotrilhos, o *EagleRail*, que permitirá a configuração de uma malha de estrutura de transferência de contêineres do porto *offshore* para os pontos terminais de outros modais.

Portanto, este projeto tem como finalidade o estudo da implantação de um porto *offshore* em Santos com base nos modelos de Porto Flexível e Porto do Futuro, utilizando-se, para a movimentação de cargas, um sistema de transporte aéreo via monotrilhos. Trata-se da primeira abordagem acadêmica, onde analisa-se a viabilidade econômica, técnica e ambiental da execução deste projeto. Adicionalmente, busca-se inserir em um projeto maior, relacionado à concepção do Porto de Santos como um porto concentrador de carga (“*hub port*”), visto se tratar de um porto responsável pelo transporte de um terço dos produtos movimentados no País e que conta com uma hinterlândia que representa atualmente metade do produto interno bruto (PIB) brasileiro.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. HISTÓRIA DA NAVEGAÇÃO

3.1.1. Evolução das atividades de navegação

A navegação teve início a partir de técnicas primitivas criadas por navegantes Fenícios em meados de 5000 a.C., movidos pela necessidade da exploração e da travessia de locais que eram inconcebíveis por rotas terrestres. O comércio explorado por povos egípcios tinha como principal atividade a agricultura, que dependia da fertilização das terras nas cheias anuais do rio Nilo. A ambição comercial desses povos impulsionou o surgimento das primeiras aventuras em alto mar, que obtiveram êxito em pequenos navios nas viagens próximas à costa africana. A hegemonia marítima dos Fenícios se manteve por milhares de anos, porém, a partir do século V, outros povos passaram a dominar a arte da navegação.

Remontando-se o cenário econômico que predominava na Europa no início do século XV, verifica-se a ascensão da política mercantilista como mecanismo de desenvolvimento das nações hegemônicas. Essa atividade foi precursora do acelerado crescimento e da consolidação do capitalismo promovida fundamentalmente pela Revolução Comercial. O mercantilismo é um conjunto de práticas que procuravam fortalecer o Estado através da promoção do comércio, seguindo-se sempre a doutrina da balança comercial favorável. Essas práticas permitiram o início do expansionismo marítimo e a formação de novas potências mercantis.

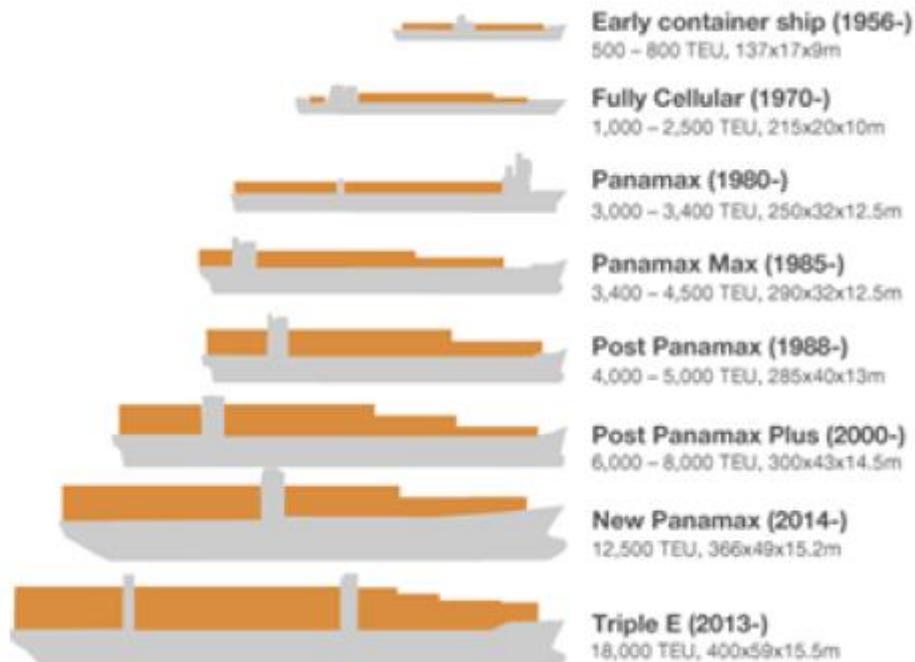
O advento dessas práticas mercantilistas foi responsável pelo surgimento do conceito da globalização. A partir das grandes navegações, estabeleceram-se rotas marítimas por diversas regiões e transformou-se uma terra dividida em um sistema único e interligado. A compreensão da geografia do mundo que surgiu a partir dessas navegações permitiu o desenvolvimento do comércio global, construiu impérios, definiu as alianças de poder e iniciou a jornada rumo ao desenvolvimento cultural, político e econômico que se observa nos dias atuais (R. S. LOVE, 2006).

O constante desenvolvimento tecnológico, promovido ao longo dos anos partindo da Revolução Industrial do século XVIII, possibilitou o desenvolvimento dos meios de transportes terrestres e marítimos. Além da substituição de embarcações movidas por velas pelos navios movidos a vapor, estabeleceram-se novas rotas marítimas a partir de avanços da cartografia náutica. O aumento do tamanho e o uso de

um mecanismo de propulsão mais eficiente das embarcações permitiu uma melhora na capacidade de transporte e na velocidade da transferência de carga e produtos entre os países.

Entre os séculos XVIII e XIX, mantendo-se o ritmo acelerado da revolução industrial, a introdução de modelos de produção em massa demandou uma maior exigência de derivados de petróleo e de matérias-primas para a indústria. Com a substituição da matriz energética do carvão para o petróleo, as consequências imediatas associadas aos transportes marítimos foram a redução da energia gasta pelas embarcações em longos percursos, o aumento da capacidade, com maior tonelagem expedita, e performance dos navios (MACHADO, 2012). Realizando-se uma breve comparação em relação à capacidade das embarcações ao longo dos anos, o maior navio do ano 1871 poderia transportar 3.800 toneladas, em 1914 esse valor passou para 47.000 toneladas; nos dias atuais a capacidade máxima ultrapassa o valor de 500.000 toneladas. Esse crescimento significativo do tamanho das embarcações levou à necessidade de grandes investimentos na infraestrutura portuária para acomodá-los, assim como novas demandas tecnológicas para aumentar eficiência.

Figura 1 - Evolução das embarcações de contêiner



Fonte: (ASHAR; RODRIGUE, 2012).

Segundo Bernardino, (2015) “O mercado cada vez mais competitivo impõe uma pressão para que tanto os novos portos, como também aqueles existentes, operem

com embarcações cada vez maiores, bem como com condições de tráfego mais intensas, o que representa, em última instância, uma redução de custos agregados ao produto final transportado.”

Assim como as embarcações, as infraestruturas portuárias que estão intrinsecamente associadas ao desenvolvimento das atividades marítimas sofreram graduais transformações e adaptações de modo a atender os diferentes fluxos e movimentações de cargas que seguem a demanda de cada país. Historicamente, os portos estavam no centro de desenvolvimento de diversas cidades, transformando-as, eventualmente, em importantes áreas metropolitanas (VEENBOER, 2014). A existência de portos possibilitou a integração do comércio internacional superando distâncias muito maiores do que era realizado pelo transporte terrestre tradicional, sendo importantes equipamentos da estrutura de circulação dos territórios e constituindo elementos imprescindíveis para o sistema de transporte de um país (MORAES, 2008).

Muitos pesquisadores realizaram trabalhos que discutem a relação entre portos e cidades sob diferentes perspectivas, que são confrontadas e embasadas em estudos de caso.

“O porto e a cidade formaram um sistema baseado na imbricação e na complementaridade de suas diferentes funções para constituir lugares de intercâmbio, de valorização e de produção abertas ao comércio.” (BOUBACHA, 1997). Nesse sentido, verifica-se que portos e cidades, observando-se a tendência mundial, mantiveram uma relação auto reforçada, ou seja, o crescimento da atividade portuária leva ao crescimento urbano e vice-versa.

Tabela 1: Evolução da movimentação de carga nos portos ao longo do século XX para portos de grande porte

Período	Carga (em milhões de toneladas)
Início do século XX	1 a 10
Meio do século XX	10 a 20
Final do século XX	100 a 500

Fonte: (PORTO, 2007)

Em um período marcado até a Segunda Guerra Mundial, os principais portos estavam inseridos em cidades importantes economicamente. A evolução na indústria do transporte marítimo sofreu algumas mudanças profundas nas décadas posteriores à Guerra. Essas alterações determinaram o surgimento de diferentes relações entre o porto e a cidade. A partir de novos modelos econômicos estabelecidos pela globalização, os portos assumiram diferentes concepções devido à implantação de tecnologias advindas da industrialização, introdução do conceito de conteinerização, surgimento de sistemas de *supply chain*, aumento do tamanho das embarcações e ampliação das dimensões espaciais da hinterlândia (ROBINSON, 2002).

Dentre essas mudanças, a conteinerização teve um papel bastante significativo e revolucionário na indústria naval e pode ser visto como um dos mais importantes desenvolvimentos tecnológicos no setor marítimo. Teve um impacto notável no sistema logístico e afetou todo o sistema de transporte global. Antes da introdução do contêiner, o transporte de mercadorias era extremamente oneroso. No início da década de 1960, a dependência de métodos manuais de movimentação de carga e a dificuldade de execução da descarga das embarcações estava restringindo o crescimento do comércio mundial.

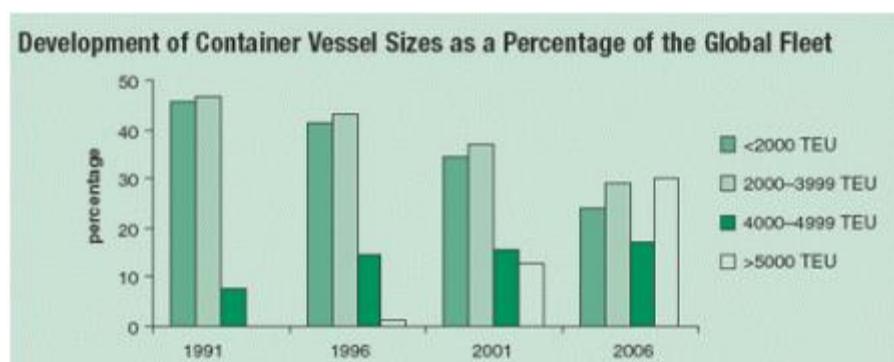
Figura 2 - Movimentação de carga no ano de 1960 no Porto de Roterdã¹



Fonte: (AUTORIDADE PORTUÁRIA DE ROTERDÃ, [s.d.]).

Diante desse cenário, surgiu a idéia de padronização e adaptação na movimentação de cargas, com o objetivo de aumentar a eficiência e a produtividade do transporte marítimo, que culminou com a “Revolução dos Contêineres”.

Figura 3 - Evolução do tamanho das embarcações de contêineres



Fonte: (THE INTERNATIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT / THE WORLD BANK, 2007)

Conforme a figura 3, é possível verificar a variação e o desenvolvimento do tamanho dos contêineres ao longo dos anos. Os contêineres são estruturas que oti-

¹ Em 1967, o diretor do Porto de Roterdã visitou Nova Iorque e fomentou a primeira linha de contêineres para o porto holandês. Adaptações foram necessárias para transformar o porto de carga geral para contêiner. Hoje o Porto de Roterdã é o maior da Europa neste segmento (AUTORIDADE PORTUÁRIA DE ROTERDÃ, [s.d.]).

mizaram o sistema de transporte e manuseio de cargas, atuando também como elemento que impulsionou a intermodalidade, reduzindo significativamente os custos de transbordo e atrasos no tráfego de carga (MACHADO, 2012). De acordo com Taneja (2013), os contêineres são bem vistos pelas autoridades portuárias, devido ao seu alto potencial de crescimento. Portanto, diferentes instituições estão dispostas a investir no setor de contêineres para fomentar esse crescimento. A adaptação desse sistema otimizado de cargas na indústria marítima trouxe profundas mudanças na relação porto-cidade. De imediato, teve-se o aumento nas dimensões e na capacidade de transporte das embarcações. Esse crescimento dos navios gerou a necessidade da busca de novos locais disponíveis para acomodar terminais com profundidades suficientemente grandes para permitir a atracação dessas novas embarcações de contêineres. Assim, as áreas portuárias passaram a ser desenvolvidas longe de locais portuários convencionais para locais periféricos.

Figura 4 – Pátio de estocagem do terminal do porto *offshore Maasvlakte 2*, Porto de Roterdã



Fonte: (AUTORIDADE PORTUÁRIA DE ROTERDÃ, [s.d.]).

3.1.2. Evolução dos portos no Brasil

No período marcado pela Era das Grandes Navegações, Portugal, com o intuito de organizar um comércio com o entreposto encontrado por Vasco da Gama, enviou a frota de exploração comandada por Pedro Alvares Cabral para as águas da enseada de Porto Seguro. Nessa época marcada pelo descobrimento das terras brasileiras, as primeiras instalações portuárias rudimentares começavam a surgir e passaram a ser

polos de movimentação de mercadorias entre a nação portuguesa e o Brasil (MOREIRA, 2009).

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, criou-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. (ARAÚJO, 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 de indústrias automobilísticas e de infraestruturas para o modal rodoviário em comparação com o modal aquaviário.

Em 1975, o Governo brasileiro criou uma *holding* chamada de 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 {Citation}(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, conforme descrito por Porto (2007), “constituído pelos portos organizados, como seus complexos de instalações portuárias e os terminais de uso privativo”. Assim, seguindo uma visão econômica liberal, evidencia-se a saída do Estado na 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 (ARAÚJO, 2013).

Em 2007, criou-se a Secretaria de Portos da presidência da República que demonstrou a intenção do Governo Federal em ter, efetivamente, uma visão desenvolvimentista para o setor portuário nacional. Entre as competências e atribuições da Secretaria está a formulação de políticas e diretrizes que configuram o setor dos portos, além de executar medidas e projetos de apoio ao desenvolvimento da infraestrutura portuária.

Com relação às metas definidas pela Secretaria, destaca-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, destaca-se também o Plano Nacional de Logística Portuária que prioriza 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, tem-se uma consolidação de marcos regulatórios que promovem um estímulo na livre iniciativa e na atração de investimentos privados para o setor portuário (ARAÚJO, 2013).

Tabela 2: Fases importantes do sistema portuário brasileiro

FASES	DESTAQUES
1. A ABERTURA DOS PORTOS ÀS NAÇÕES AMIGAS	<ul style="list-style-type: none"> → SURGIMENTO DAS PRIMEIRAS CONCESSÕES PARA EXPLORAÇÃO DAS ATIVIDADES PORTUÁRIAS. → INSERÇÃO DO BRASIL NO MERCADO MUNDIAL E A EXTINÇÃO DO MONOPÓLIO DO COMÉRCIO DA COLÔNIA DE PORTUGAL. → PRIVATIZAÇÃO DOS PORTOS ORGANIZADOS (SANTOS) EM 1888.
2. O GOVERNO CONSTITUCIONAL E O ESTADO NOVO	<ul style="list-style-type: none"> → IMPLANTAÇÃO DE PARTE FUNDAMENTAL DA INFRAESTRUTURA DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO DA INDUSTRIALIZAÇÃO. → INSTALAÇÃO DO PROGRAMA ESTATIZANTE QUE ALTERA O PERFIL DA ATIVIDADE PORTUÁRIA PASSANDO O ESTADO A MANTER UM MAIOR CONTROLE SOBRE OS PORTOS. → CONCEITUAÇÃO DO TRABALHO PORTUÁRIO (CAPATAZIA, ESTIVA, ETC) E SUAS RESPECTIVAS TAXAS DE COBRANÇAS.
3. A LEI DE MODERNIZAÇÃO DOS PORTOS	<ul style="list-style-type: none"> → APRESENTA UMA VISÃO PRIVATIZANTE, SURGINDO AS FIGURAS DO ARRENDAMENTO E TERMINAIS PRIVATIVOS. → AS COMPANHIAS DOCAS PASSAM A SER ADMINISTRADORAS E AUTORIDADES PORTUÁRIAS. → SURGE A FIGURA DO OPERADOR PORTUÁRIO, DO ORGÃO GESTOR DE MÃO-DE-OBRA E DO COMANDO ÚNICO DA OPERAÇÃO PORTUÁRIA.
4. A SECRETARIA ESPECIAL DE PORTOS	<ul style="list-style-type: none"> → CONSOLIDA UM NOVO MODELO DE GESTÃO DO SETOR PORTUÁRIO COM A REVOGAÇÃO DE LEIS, DECRETOS E DISPOSITIVOS LEGAIS DIVERSOS. → NOVO STATUS AO SETOR, RETIRANDO-O DE UMA SITUAÇÃO DE "SEGUNDO PLANO" PARA UM FOCO MAIOR EM UMA VISÃO DESENVOLVIMENTISTA PARA O PAÍS → FORMULAÇÃO DE POLÍTICAS E DIRETRIZES E A PARTICIPAÇÃO NO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DO SETOR, SENDO RESPONSÁVEL PELO PLANO DE OUTORGAS.

Fonte: (ARAÚJO, 2013).

3.1.3. O Porto de Santos

O porto de Santos teve a inauguração marcada oficialmente, no dia 2 de fevereiro de 1892, com a entrega do primeiro trecho de 260 metros de cais construído pela então Companhia Docas de Santos (CDS) na área do Valongo. Com a inauguração desse trecho de cais, teve-se o início das operações no porto organizado, que ocorreu quatro anos após a assinatura do contrato entre o governo do Império e um grupo de concessionários para execução de obras de desenvolvimento do Porto de Santos.

Essa inauguração permitiu o advento de mudanças significativas para a cidade, com a substituição de estruturas rudimentares portuárias, como trapiches e pontes de madeira, 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, idealizado por Braz Cubas (CODESP, [s.d.]).

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

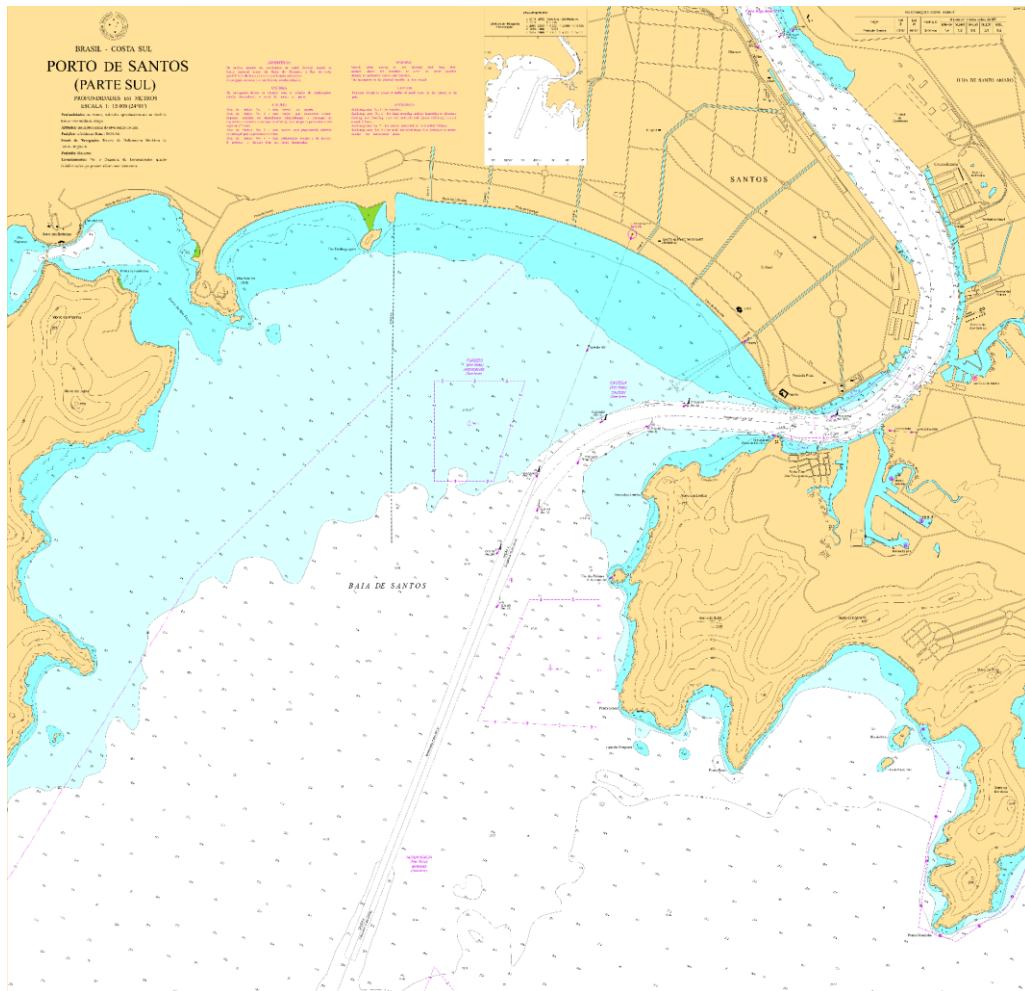
Desde o ano de 1892, o Porto de Santos continuou expandindo, percorrendo todos os ciclos de mudanças e oscilações econômicas do país, com as diversas variações nos tipos de cargas movimentadas, desde açúcar, café laranja, algodão, carvão, sucos cítricos, sojas, adubo, granéis líquidos diversos, veículos 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 cargas, que variava entre 1,5 toneladas e 30 toneladas. Nos anos 1940, a CDS decidiu expandir as instalações no entorno do intercâmbio ferroviário na região do Valongo para favorecer a logística com o transporte ferroviário, após a verificação do aumento sucessivo da movimentação de carga (MOREIRA, 2009).

Diante da nova fase, marcada pela ascensão das grandes exploradoras de petróleo, implantou-se o terminal de Alemoa, com uma linha de oleoduto submersa de 1150 metros de extensão, ligando o trecho do Saboó à ilha de Barnabé.

Em meados do século XX, a CDS incrementou o desafio de aumentar a profundidade do canal do estuário. O porto recebeu duas dragas de alcatruzes, Vera Cruz e Santa Cruz, 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 objetivo ampliar o cais de acostagem de 5 km para 11 km, com profundidade de 11 metros a entrada e a circulação dos novos navios *Panamax*.

Figura 5 - Canal do Porto de Santos visto na carta náutica



Fonte: (CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA, 2016).

No início dos anos 1960, o Porto passava a utilizar 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 metros 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 pela CDS e com o encerramento de um dos períodos mais férteis em empreendimentos e atividades operacionais nos portos do Brasil, o Governo Federal criou a Companhia Docas do Estado de São Paulo – CODESP, que consiste de uma empresa de economia mista, de capital majoritário da União. Assim, teve-se o início de um ciclo de sucessivas gestões portuárias exercidas por vários grupos partidários (CODESP, [s.d.]; MOREIRA, 2009).

A área Portuária de Santos produz aproximadamente 15% das exportações marítimas brasileiras com mais de 800 milhões de toneladas por ano e corresponde a cerca de 35% do Produto Interno Bruto de US\$ 2,088 trilhões (dados de 2011). Esses números colocam o Porto de Santos como a quarta instalação portuária nas Américas e a primeira no hemisfério sul. Importantes reservas de petróleo e gás na Bacia Offshore de Santos começaram a produzir para a indústria de petróleo. A Região Metropolitana de Santos é uma das mais importantes do litoral brasileiro, considerando também o turismo de grandes linhas de cruzeiros que transitam na região.

Figura 6 - Características do canal do Porto de Santos



Fonte: .(CODESP, [s.d.]).

Avançando o cenário do Porto de Santos para anos mais recentes, verifica-se que em 2013, o Porto de Santos superou a marca dos 114 milhões de toneladas mo-

vimentadas, antecipando em um ano a projeção base para 2014 que era a movimentação de 112,6 milhões de toneladas. No ano de 2016, a movimentação de contêineres do Porto de Santos correspondia a 41,7% da movimentação total nos portos do Brasil.

Figura 7 - Terminal de contêiner



Fonte: CODESP. Disponível em: <portodesantos.com.br> Acesso em: maio, 2017.

Segundo dados da CODESP, atualmente, o Porto de Santos tem uma extensão de cais de 15.960 metros e área útil total de 7,8 milhões de metros quadrados. Conta com 55 terminais marítimos e retroportuários e 65 berços de atracação, dos quais 14 são de terminais privados (Cutrale, Dow Química, Usiminas, Valefértil e Embraport). Destacam-se terminais especializados, localizados nas duas margens do estuário, nos quais se pode verificar a seguinte disponibilização de berços: 1 para veículos; 17 para contêineres; 5 para fertilizantes/adubos; 6 para produtos químicos; 2 para cítricos; 8 para sólidos de origem vegetal; 1 para sal; 2 para passageiros; 1 para produtos de origem florestal; 1 para derivados de petróleo; 4 para trigo; 5 para produtos siderúrgicos; 10 para cara geral e 2 de multiuso (suco cítrico a granel, roll-on/roll-off e contêiner).

Figura 8 - Características do atual Porto de Santos



Fonte: .(CODESP, [s.d.]).

Com essa infraestrutura, o Porto de Santos é maior que os outros quatro maiores portos brasileiros juntos, como pode ser visto na figura abaixo.

Figura 9 - Comparativo entre portos brasileiros



Fonte: .(CODESP, [s.d.]).

Tabela 3: Movimentação brasileira de contêineres – 2007-2011

PORTE	2015	2016
Santos	2.453.881	2.358.220
Itajaí	577.612	636.061
Paranaguá	471.573	436.781
Rio Grande	443.607	431.689
São Francisco do Sul	338.352	322.608
Manaus	317.336	246.804
Suape	256.506	254.483
Rio de Janeiro	240.172	210.789
Salvador	187.446	197.395
Vitória	178.781	149.129
Itaguaí	151.822	140.024
Pecém	109.058	105.488
Fortaleza	55.271	51.588
Vila do Conde	44.916	63.830
Imbituba	25.580	24.660
Natal	19.179	22.236
Belém	14.936	501
Itaqui	4.945	12
Porto Velho	1.148	289
Brasil	5.892.121	5.652.587

Fonte: (CODESP, [s.d.]).

Para o cenário de crescimento econômico, é essencial ter uma compreensão dos principais processos dos esforços hidrodinâmicos marítimos nos níveis de maré,

correntes de maré e ondas, induzidos por eventos extremos do mar e perigos associados que influenciam e geram riscos nas operações dos navios. O nível atual do Canal externo da Área Portuária de Santos é de 15 metros, sendo considerado um canal de mão dupla de 220 metros para navios porta-conteneiros de 9.000 TEUs, mantidos por dragagem. (ALFREDINI et al., 2014).

3.2. PROBLEMAS ATUAIS

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. Tal quadro representa um estado oposto ao que é verificado nos grandes portos internacionais, nos quais verifica-se excelentes referências administrativas e a “aplicação de uma política de independência e qualificação da alta gerência dos portos”, 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”.

Moreira aponta alguns erros técnicos ainda não corrigidos e problemas atuais tais como: ausência de área de retroporto na área de expansão do Macuco; 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 contêiner a montante aumentando a densidade de navegação

Somados aos erros técnicos, não se observou grandes empreendimentos de infraestrutura no Porto de Santos, com exceção do Terminal de Contêiner, implantado em 1981.

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.

Por exemplo, atualmente os portos concentradores como Le Havre, Hamburgo e Roterdã apresentam expansões direcionadas para o mar, com o posicionamento dos terminais de contêiner para o primeiro ponto de acesso, de forma a “favorecer os

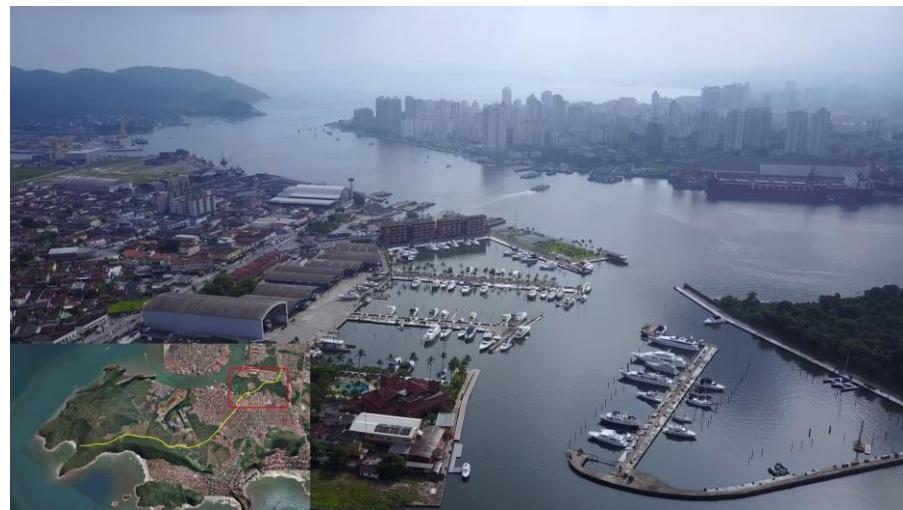
grandes calados e a redução da densidade de navegação no interior do porto" e reduzir os impactos ambientais. Observa-se também que os portos concentradores atuais apresentam forte integração e harmonização entre portos e cidades, onde é possível observar amplos espaços em meio às atividades urbanas e portuárias, além de acessibilidade de carga que não ocasione em uma 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 e logística.

O canal do Porto de Santos possui uma profundidade natural de 8 metros. Atualmente sua profundidade média é de 15 metros, mantida com dragagens constantes de aproximadamente 7 milhões de m³ ao ano. Espera-se que em 2025 seja possível receber navios do tipo *Post Panamax Plus*, a 5^o geração de navios porta-contêineres, que exigem uma profundidade de 17 metros. O aumento de profundidade de 8 para 17 metros representa um aumento de 112,5 % em relação a profundidade natural, muito superior ao aumento de 50% considerado economicamente sustentável.

O canal de Santos apresentado na figura a seguir deverá ter sua largura ampliada de 220 metros para 315 metros e o raio de sua curva deverá passar de 1800 metros para 3300 metros 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; MOREIRA, 2013).

Figura 10 - Vista da saída do canal do Porto de Santos



Fonte: Autor.

De acordo com as estimativas de Alfredini (2013), entre 1962 e 2012, foram gastos aproximadamente 500 milhões de dólares com dragagens. Vale ressaltar os custos ambientais relacionados às operações de dragagem, especialmente considerando a existência dos ecossistemas de manguezais na região.

Quanto ao problema espacial, cita-se novamente os problemas já apresentados por Moreira quanto ao 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 a cidade de Santos e Guarujá. O contrário é observado nos grandes portos como Roterdã e Le Havre: observa-se que os amplos espaços em meio a 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 permitem excelente convivência e fomento entre as partes.

Quanto a logística, observa-se o crescente porte dos navios e a incapacidade do Porto de Santos de acompanhar este crescimento, vide os navios do tipo *Post Panamax Plus* e *Triple E*. Além disso, a região enfrenta grandes congestionamento nas proximidades do porto e tráfego intenso nas rodovias do Sistema Anchieta-Imigrantes.

3.3. PORTOS FLEXÍVEIS

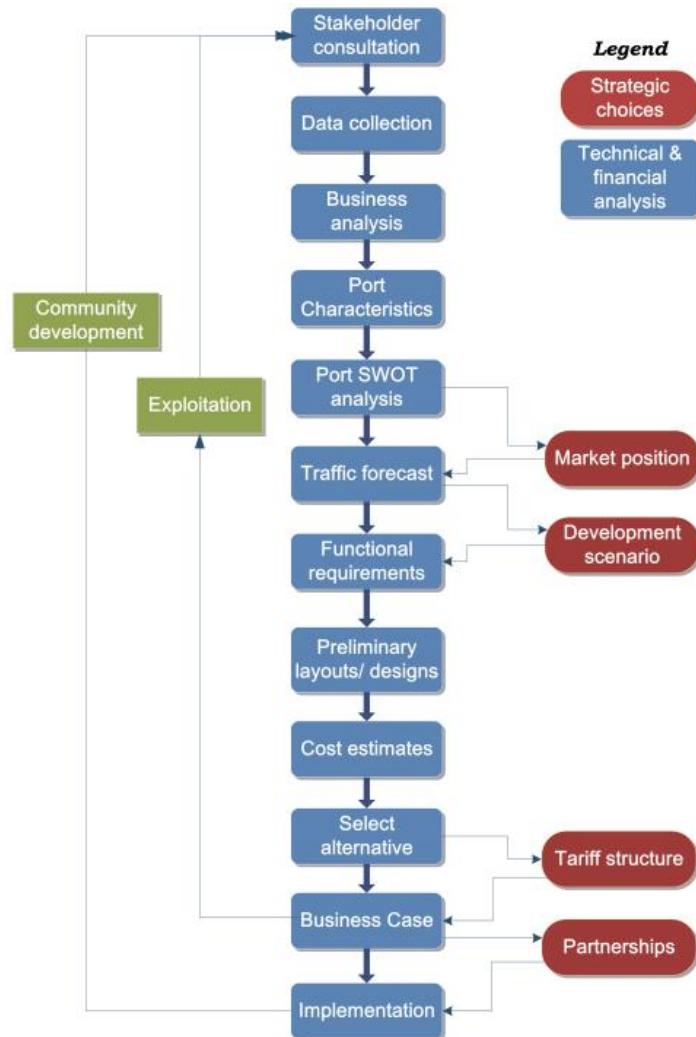
3.3.1. Conceito de Portos Flexíveis

Os maiores problemas encontrados no desenvolvimento das diretrizes que guiavam 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 acaba negligenciando 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 as diretrizes a serem seguidas e a elaboração do plano diretor.

Figura 11 - Port planning process



Fonte: (TANEJA, 2013).

O objetivo do Porto Flexível é permitir a adaptação do porto 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 a flexibilidade são: Acessibilidade, compatibilidade, construtibilidade, desconstrutibilidade, 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 se mostrar mais custosa em primeiro momento, mas seu objetivo fica mais claro quando olhamos para o futuro. Com o avanço do projeto e com a chegada de novas informações, adaptações que permitem 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 e que o porto se beneficie da possibilidade de melhoramentos nos projetos durante a fase de construção para melhor atender as demandas tanto presentes quanto futuras, fazendo com que sua vida útil seja maior e os custos de adaptações sejam menores.

Today, having the right capacity and capabilities is integral to the long-term growth and success of ports. Ensuring that the nautical infrastructure, quay design, cranes and operational layout match the specifications of future vessels is essential for ports to get ahead of the curve (MAERSKLINE, 2011).

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, diminui a geração de resíduos, gerando menos impactos ambientais e reduz o custo da estrutura pelo seu tempo de operação, contribuindo para que o porto seja sustentável.

We need a paradigm for planning and design of large-scale engineering systems that deals effectively with the reality that the actual future so regularly differs substantially from the forecast. We need concepts and procedures that enable us to anticipate possible uncertainties, and enable us to deal with them efficiently as they arise. In one word, we need to develop the flexibility to react to events, to take advantage of new opportunities, and to exit from unproductive pathways. We need this because the value that can be expected from a flexible system can be vastly greater than the value derived from a system designed around a specific expected future. Designers of large-scale systems need 'real options', that is, the flexibility to alter development trajectories as needed (DE NEUFVILLE et al., 2007).

3.3.2. O Papel dos portos flexíveis no cenário atual

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 lugares distantes sejam competitivos no mercado, é necessário que haja baixo custo de transporte, portanto cada vez mais os navios crescem e são necessárias maiores e mais robustas estruturas para atender esses novos navios.

Grande parte dos portos existentes no século XX eram estuarinos. A construção de portos dentro do estuário dos rios proporciona um abrigo natural das ondas, porém a profundidade natural do canal costuma ser pequena. Isso gera conflito com a necessidade de canais com profundidades que ultrapassam 15m. O custo de dragagem começa a ficar tão alto que atualmente existe uma tendência de migração dos portos para fora do estuário, para áreas em que a profundidade natural seja maior possível. Contudo, são necessárias grandes estruturas que abriguem os navios do ataque das ondas, gerando um custo de implantação um tanto elevado.

Esses portos destacados do continente têm função de *hub-ports* (portos concentradores), onde os maiores navios chegam carregados de longas viagens interoceânicas e distribuem suas cargas em navios menores para cabotagem e/ou para o continente a fim de abastecer principalmente a hinterlândia do porto. Seu objetivo é ser um elo da “*Supply chain*” entre os centros de produção e consumo, uma plataforma logística, que visa atender as demandas não só do presente, mas que tenha capacidade extra para atender os crescimentos futuros. Na região se formam complexos econômicos onde diversas indústrias tendem a focar suas operações visando a redução de custo e tempo com transporte.

Como proferido por Haralambides (2002): “Sufficient infrastructure is required in order to provide sufficient service levels, while extra capacity is required to attract future growth.”

3.3.3. Riscos associados

Se já não bastassem as incertezas que acompanham o planejamento do porto, ainda existem riscos associados a longos períodos de retorno para os investimentos. Tendo isso em mente, para que o investimento consiga ser lucrativo o porto deve atender às expectativas durante um longo período de tempo suficiente para que o investimento se pague e, portanto, deve ser capaz de ser adaptado para eventuais mudanças no cenário de logística portuária que venham a acontecer. A não adaptação do porto às exigências pode fazer com que ele perca sua posição competitiva para portos concorrentes, visto que as empresas que alugam os terminais migrariam facilmente para portos que oferecerem melhores condições pelo menor preço.

Uma pesquisa feita pela conferência da ONU sobre mercado e desenvolvimento (UNCTAD) mostrou 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 22.000 TEU que pode vir a ser o novo substituto do *Triple E*, 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 inércia, e dificultam sua acomodação nos berços e canais, irão barrar essa tendência.

Como traduzido de De Neufville et al. (2004): “*Engineering systems face the tremendous challenge of meeting the changing demands while ensuring functionality, capacity and service quality. Thus, planning is needed to anticipate future developments and to ascertain that the infrastructure, once built, functions well.*”

Há também riscos associados a problemáticas econômicas. A crise econômica afeta todo o comércio marítimo, independentemente da situação do porto em questão. Com a crise de 2008, o número de navios no porto de Cingapura em abril de 2009 caiu 17,7% quando comparado ao mesmo período do ano anterior (MARITIME PORT AUTHORITY OF SINGAPORE, 2009).

3.3.4. Aspectos Ambientais

O desenvolvimento portuário deve seguir as diretrizes ambientais com intuito de causar o menor impacto possível, configurando portos sustentáveis. Deve-se garantir um desenvolvimento econômico que gere benefícios sociais, traga emprego para a região, sem causar grandes danos ao meio ambiente.

3.3.5. Conceito Tradicional de Planejamento Portuário

Dentro das categorias de pesquisa dentro do contexto de planejamento portuário, a que nos interessa no âmbito de portos flexíveis é o planejamento e desenvolvimento portuário, que inclui previsão de demanda e planejamento da 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 a fim de atendê-la. Outros fatores que devem ser considerados são a disponibilidade espacial na região do porto, custo e respectiva qualidade de utilizar as instalações do porto e da 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.

3.3.6. Flexibilidade Presente nos Planos Diretores

Greenfield Project: É um projeto que não tem vínculos a projetos anteriores.

O porto Gangavaram - Índia, é um dos poucos “greenfield ports” existentes hoje. 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, afim de ser o mais flexível possível. Pensaram-se em 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.

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 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 as estruturas 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 flexível 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, E, 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.

Um exemplo extremo de flexibilidade, sob o ponto de vista bélico, é o Porto Mulberry - Normandia, 1944 - que pode ser até mesmo ser movimentado, além de poder ser reconfigurado, atender navios civis e militares e ser versátil quanto ao tipo de carga que é suportada.

3.3.7. Um modelo estrutural para gerenciar incertezas

Levando em conta as incertezas no processo de planejamento portuário, verifica-se que existe a necessidade de desenvolver novas formas de planejamento portuário a fim de minimizar as incertezas do tipo e dimensões do carregamento e de dimensões de navios. Dessa forma, TANEJA (2010) propõe uma nova abordagem de planejamento deixando de lado planos estáticos de ação para desenvolver planos que possibilitem mudanças, aprendizado e adaptação ao longo do tempo, antecipando os possíveis problemas. Como foi mencionado por Swanson et al (2010), “*Make the plan ready for what lies around the corner - make it adaptive*”.

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, prevenindo que os planos “*predict-and-act*” falhem.

A estrutura do APP foi baseada em outros dois métodos propostos anteriormente, sendo eles o *Assumption-Based Planning* (ABP), detalhado em (DEWAR, J. A et al., 1993) e (DEWAR, J. A, 2002), e o *Adaptive Policy Making* (APM), detalhado em (KWAKKEL, J., 2010), (WALKER, 2012) (TANEJA et al., 2010) e (TANEJA et al., 2011). 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 e planos 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 utilizar 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 utilizadas ferramentas e técnicas como brainstorm, cenários possíveis de ocorrer ou uma abordagem probabilística.

O método APP foi implementado na concepção do *Maasvlakte 2* (segundo plano de expansão do Porto de Roterdã, Holanda) e a flexibilidade do planejamento foi a principal meta da obra. O consórcio responsável pela obra deu total liberdade para mudanças ao longo do projeto de forma a atender da melhor forma possível às expectativas. Além disso, a flexibilidade do tempo foi alcançada através da construção da obra de acordo com a demanda do mercado.

3.3.8. 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 ativa e passiva.

Pode-se entender por flexibilidade passiva os atributos que facilitam o reuso de uma estrutura sem necessitar de adaptação, como *designs* 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 reciclagem, durabilidade e manutenibilidade que promovem o reuso da infraestrutura e seus elementos que se enquadram nos dois casos (ativo e passivo).

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

- *Designs* genéricos podem ser entendidos como um padrão estético-funcional de um mesmo objeto que, por isso, pode ser utilizado 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 desenhos 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 et al. (2006) define 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 modularização 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 modularização 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 novas 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 de as 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, estrutura 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.

3.3.9. Aspectos essenciais relacionados à flexibilidade

Como principais aspectos relacionados à infraestrutura portuária, pode-se elencar os seguintes itens que contribuem mais fortemente à flexibilização com a finalidade de se buscar maiores lucros e uma maior previsão das incertezas do futuro sem gastos que inviabilizem a obra.

- Flexibilidade e as incertezas: hoje, a flexibilidade em um projeto é vista como um conjunto de ações para lidar com a incerteza. Assim, se não existisse tal incerteza, todas as iniciativas seriam certas e logo, não teria razão para implementar a flexibilidade. As várias opções têm um valor apenas se existir incertezas. Conforme estas incertezas aumentam, as opções têm seu valor (ou sua flexibilidade atrelada) aumentado da mesma forma já que as opções tendem a promover a proteção contra aspectos negativos das incertezas, mas permitem também lucrar com os aspectos positivos das incertezas.

- Como medir a flexibilidade: o fato de a flexibilidade ter diferentes significados em diferentes contextos dificultou o desenvolvimento de uma métrica geral, porém eficiência, responsividade e versatilidade são sempre mencionadas. Há um consenso geral em que se deve considerar o valor da flexibilidade na avaliação de projetos já que, caso contrário, o valor do projeto é subestimado. Para isso, deve-se fazer uma análise de longo prazo e então definir estratégias para uma avaliação econômica adequada.

- O custo da flexibilidade: a flexibilidade, independentemente de sua localização no plano de infraestrutura, tem custos associados. A flexibilização demanda altos investimentos, seja ela relacionada à estrutura em si ou mesmo em relação à operação. O faseamento de projetos traz a facilidade de se postergar investimentos, porém o mesmo ocorre com os lucros, além de se perder a economia de escala. A flexibilização da operação demanda alocação de recursos, o que também aumenta o custo. Em

suma, é necessário avaliar o ganho que a flexibilização traz com precisão para verificar se o investimento trará o retorno desejado.

- Flexibilidade e eficiência: a eficiência exige ações *just-in-time* e o emprego de recursos. Em obras de infraestrutura, o conceito de soluções *just-in-time* na maioria das vezes não tem uma aplicação prática, sendo que nestes casos adota-se a flexibilização *just-in-case*. A flexibilização, em grande parte, tende a reduzir a eficiência, principalmente em uma cadeia de produção, porém contribui muito para uma solução efetiva em projetos de longo prazo.

3.3.10. Análise dos riscos

Para o desenvolvimento de projetos é necessário considerar os riscos associados à 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 utilizam 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 utilizar 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 e 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 manuseio 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 layout do terminal e na capacidade da infraestrutura são: tamanho das embarcações, disponibilidade de equipamentos no cais e no terminal, logística e transporte.

3.3.11. Implementing 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 as 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 preço 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 pelos motivos já abordados e, por ter menor custo, atinge o *break even point* mais rápido, sendo mais atraente em uma primeira análise para os investidores.

Alguns graus de inovação são resumidos em alguns conceitos que valem a pena serem apresentados, tais como:

Inovação Incremental: Tem objetivo de melhorar o que já existe, aperfeiçoar soluções que já são aplicadas para problemas atuais. (Ex: 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 à 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, tecnologia e processos existentes no mercado. São resultados de descobertas feitas aparentemente por acaso. Geralmente resultado de soluções inadequadas para problemas existentes. É uma inovação não planejada ao contrário das outras citadas anteriormente.

Para o setor marítimo, a conteinerização 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*.

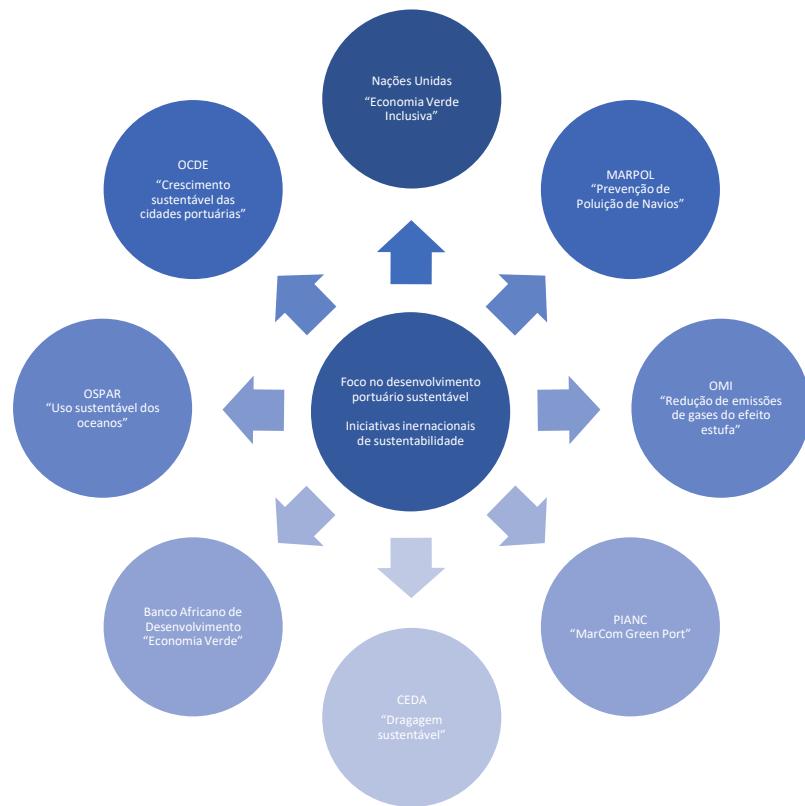
3.4. PORTO DO FUTURO

3.4.1. Introdução:

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 (OECD, 2011; PIANC, 2014).

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 Européia. 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.

Figura 12 - Diagrama que relaciona organizações marítimas internacionais, ONGs e bancos que deram início a iniciativas de sustentabilidade



Fonte: Autor.

Dada a demanda por modelos mais sustentáveis de desenvolvimento, o relatório *Port of The Future* (2015), buscou discutir o conceito de desenvolvimento portuário 'sem-impacto' em conjunto com os princípios de engenharia de infraestrutura, morfologia, e perspectivas ecológicas e socioeconômicas. Procurou-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 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 intera-

gem entre si nos oceano 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.

De acordo com o mesmo relatório, o desenvolvimento sustentável ou *green* consiste na otimização dos benefícios sociais, econômicos e ambientais dos portos, incluindo as cidades e a hinterlândia a eles conectados, além do litoral adjacente. Segundo a PIANC (2014), a definição de porto sustentável ou *green* é a de um porto no qual a autoridade portuária e seus usuários o operam de forma proativa e com base em uma estratégia de crescimento econômico sustentável.

Apesar da enorme importância econômica dos portos, *land reclamation*, 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.

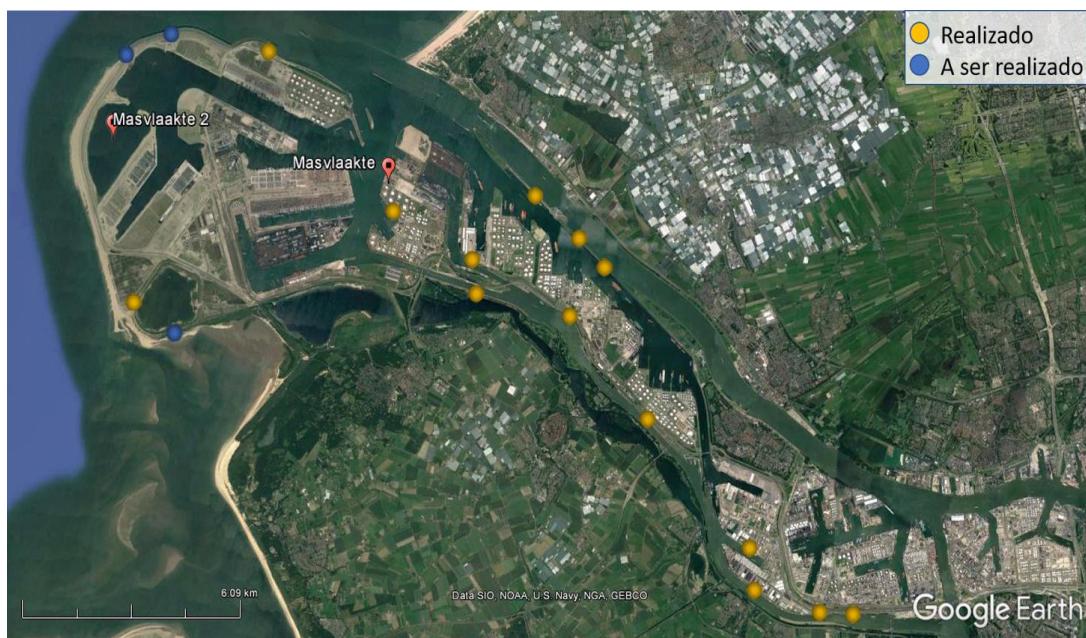
É por isso que já se busca o crescimento em harmonia com o ecossistema e que resulte em um sistema capaz de se adaptar às mudanças futuras. Um exemplo de empreendimento portuário que já está alinhado a este conceito é a expansão para a jusante do rio Maas, do Porto de Roterdã: *Maasvlakte* e *Maasvlakte 2*, instalação do tipo *offshore*.

Como citado por Moreira (2009), a Autoridade Portuária de Roterdã segue a tendência da União Europeia para tornar o sistema do porto independente, associando-se à questão de energia limpa, tal como descrito no *The Port Vision 2030*, onde diz-se que 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.

No *The Port Vision 2030*, a Autoridade Portuária realizou acordos com diversos parceiros com o intuito de alcançar a capacidade total instalada de 300 MW até 2020. Atualmente sua capacidade total instalada é de 200 MW, valor que representa 6.5% da capacidade nacional de produção de energia eólica realizada em terra. Uma turbina

eólica moderna comum (de 3 MW) é capaz de prevenir a emissão de aproximadamente 4.000 toneladas de CO₂, valor equivalente a emissão de 1.000 carros, cada um percorrendo 25.000 quilômetros 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.

Figura 13 - Localização dos campos eólicos já planejados e realizados



Fonte: Adaptado de (GOOGLE MAPS, 2017).

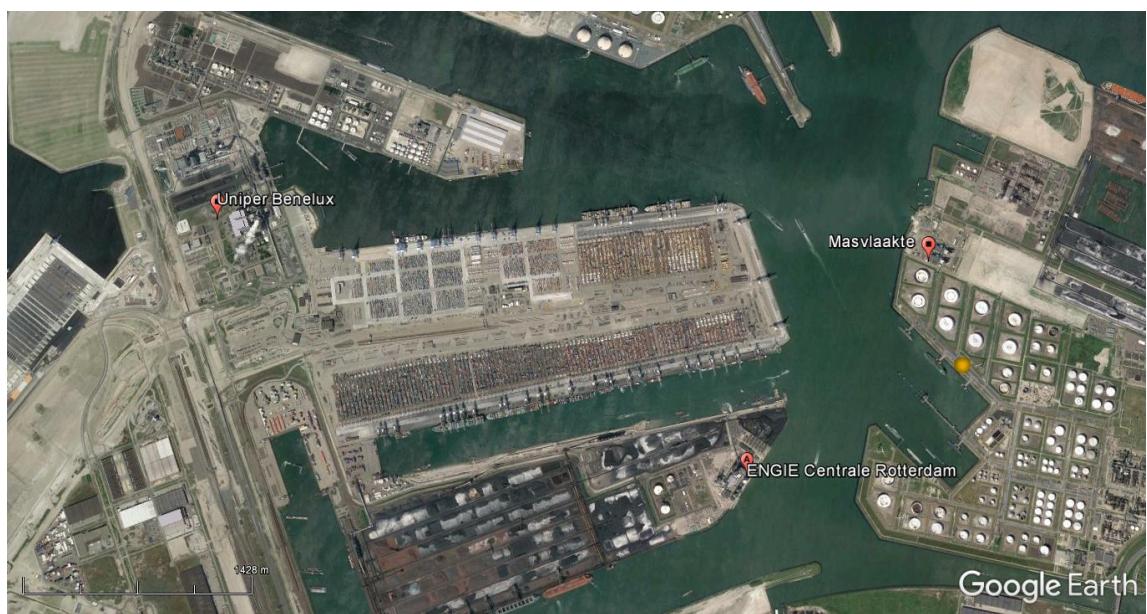
Figura 14 - Vista do campo eólico localizado na rodovia N15, *Maasvlakte 2*



Fonte: (GOOGLE MAPS, 2017).

O uso combinado de biomassa em centrais elétricas é uma importante forma de reduzir as emissões de CO₂ na geração de energia. As novas centrais elétricas a carvão, Engie e Uniper, localizadas em *Maasvlakte* são capazes de fazer uso combinado de 20 a 30 % de biomassa.

Figura 15 - Vista aérea do *Maasvlakte*



Fonte: (GOOGLE MAPS, 2017).

O porto possui um dos maiores pólos industriais de energia renovável do mundo, sendo um *hub* de biomassa, tal como pellets de madeira. Sua infraestrutura possibilita o manuseio, estocagem e distribuição de biomassa de forma eficaz.

De acordo com o *Fact Sheet - Rotterdam Energy Port (PORT OF ROTTERDAM, [s.d.])* o porto também espera ser o *hub* de CO2 europeu, com o transporte via navios do CO2 coletado por tubulações e destinados para reservatórios do tipo *offshore*. Atualmente CO2 já está sendo capturado e transportado no porto. A *joint venture* da Linde Gas e Volker Wessels fornece 0,5 toneladas de CO2 por ano da refinaria da Shell e da fábrica da Abengoa para os agricultores que se dedicam às culturas em estufas. Há também 400 hectares de telhados e espaços vazios que poderiam ser utilizados para a produção de energia solar. Em 2012, instalou-se um parque de energia solar sobre o telhado da RDM Scheepsbouwloods.

3.4.2. Influência e pressão do desenvolvimento portuário sobre o ecossistema costeiro e estuarino:

Analisou-se os potenciais impactos do desenvolvimento portuário no ecossistema costeiro. Dividiu-se os impactos 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 realizar a dragagem, altera-se a morfologia natural tanto no local de dragagem quanto no local de deposição do material dragado. Esta alteração pode afetar a hidromorfologia do ecossistema devido a mudança da interação entre as correntes marítimas e os sedimentos, resultando em uma mudança das condições ambientais tais como turbidez e tamanho 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 a perda de estruturas físicas e funções de bioturbação.

Notou-se que a deposição do material dragado em áreas já utilizadas para esse fim apresentou menores impactos e, em alguns casos, apresentou benefícios

(STRONKHORST et al., 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 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, atribuição de maior ou menor valor das áreas potencialmente afetadas (BOLAM et al., 2006).

Atualmente as operações de dragagem se tornaram mais sustentáveis e criaram-se novas opções para a realocação do material dragado. Entretanto, a repetição das operações de dragagem impedirá 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 nos 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.

O relatório propõe a incorporação do funcionamento do ecossistema costeiro no desenvolvimento portuário por meio de gestão ecossistêmica, definida como ‘abordagem de gestão ambiental que reconhece o conjunto completo da interação em um ecossistema, incluindo os seres humanos, e não somente questões, espécies ou serviços ecossistêmicos específicos de forma isolada’ (MCLEOD et al., 2005).

3.4.3. Influência do meio físico sobre os portos:

Aborda a influência do meio físico no porto e a importância da escolha da localização como parte do processo de projeto. Salienta-se a importância da localização do porto com base no atendimento da hinterlândia de interesse. Aponta-se 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 à ondas e correntes de maré, situação morfológica, e presença de infraestrutura.

Costas arenosas em geral apresentam menores custos de dragagem e pode-se realizar recuperação de terras (*land-reclamation*). Entretanto, operações em costas arenosas afetam o transporte de sedimentos. A interrupção do transporte de sedimentos acarreta em deposição de sedimentos de um lado e erosão de áreas (como praias) adjacentes do outro. Além disso, as bacias portuárias servem de depósito natural aos sedimentos, devendo-se realizar operações de dragagem.

Portos localizados no interior ou próximos a estuários sofrem com os sedimentos trazidos pelo próprio rio. Substâncias poluidoras e sedimentos podem se depositar no porto, especialmente quando a dinâmica sedimentar provoca movimentações favoráveis nesse sentido.

Tanto ondas de curto período (com períodos de onda de 4 a 18 s) quanto ondas de longo período (com períodos de onda superiores a 30 s) podem ocasionar em 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 marés pode interromper o acesso de grandes embarcações. Dessa forma deve-se fornecer 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.

A presença de infraestrutura é fundamental para a competitividade de um porto. Considerando-se a infraestrutura de transportes, deseja-se um modal com grande capacidade e baixo risco de congestionamento, podendo se dar pelos modais rodoviários, ferroviários, dutoviários 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.

A respeito da situação morfológica, tem-se o problema já abordado da interrupção do transporte de sedimentos e consequente deposição de sedimentos em uma região e erosão em outras (e.g. erosão de praias). O efeito da interrupção do transporte de sedimentos pode ocorrer devido a construção de molhes ou quebra-mares.

3.4.4. Modelos de gestão e governança:

A localização de um porto e seu projeto estão ligados diretamente às atividades que deseja facilitar. 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 Roterdã, 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. Salienta-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 econômicos e de abrigo natural, tais como estuários ou baías. (NOTTEBOOM; RODRIGUE, 2005), desenvolveram um modelo de desenvolvimento portuário contemporâneo que inclui o surgimento dos terminais concentradores de carga *offshore* e incluem o sistema continental de distribuição de carga 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 por Notteboom e Rodrigue 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*; 6) e regionalização.

Separase a hinterlândia em dois tipos: cativa ou contestável. Utiliza-se a descrição de Notteboom (2009):

Todas as regiões onde um porto possui uma vantagem competitiva substancial por conta de menores custos generalizados de transportes pertencem a hinterlândia cativa. Já a hinterlândia contestável consiste de regiões onde não há um porto específico com clara vantagem de custos em relação aos portos competidores.

Desta forma, a competição de mercado entre os portos ocorre na hinterlândia contestável.

Em hinterlândias contestáveis, os transportadores baseiam 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, os portos buscam reduzir seus custos generalizados. 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 a maior competição e necessidade de investimentos 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.

De acordo com o World Bank (2003), a gerenciamento portuário é estruturado ao redor da posse, modelos de gestão portuária, e estruturas regulatórias. Quanto aos modelos de gestão portuária, tem-se: *public service port*; *tool port*; *landlord port*; *private sector port*.

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

As operadoras privadas são responsáveis pela manutenção da sua própria superestrutura, equipamento 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. 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 utilizados, 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) e 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 sócio-econômicos e políticos. Disponibilidade de área, localização e acessibilidade aos mercados são fatores determinantes (NOTTEBOOM; DUCRUET; DE LANGEN, 2009). Como normalmente o desenvolvimento portuário dão continuação a desenvolvimentos históricos, haverá 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 a escolha da localização são geralmente desassociados. Normalmente, a Autoridade Portuária decide a localização do porto e então solicita o projeto para esta localização a uma firma de engenharia.

Todos os modelos de gestão portuária permitem o desenvolvimento de modelos portuários sustentáveis e de portos ‘sem-impacto’. Contudo, deve-se considerar os benefícios a sociedade gerados pelo desenvolvimento sustentável. Tais benefícios resultam em melhor imagem junto ao público. A vantagem dos modelos com maior envolvimento do setor público, tal como o modelo de *landlort port* é 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*). Desta forma, 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 desenvol-

vimento 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 ‘sem-impacto’.

3.4.5. Fundamentação sócio-econômica 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 duas 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 utilizado para determinar quais impactos devem ser minimizados. Este conhecimento também poderá fornecer aos governos uma fundamentação para investir em outro tipo de porto. O capítulo se inicia com a consideração da Análise do Custo Benefício Social (*Social Cost Benefit Analysis*) para analisar os custos econômicos e os benefícios de um porto para a sociedade como um todo. A segunda parte considera os custos financeiros e os benefícios para o investidor.

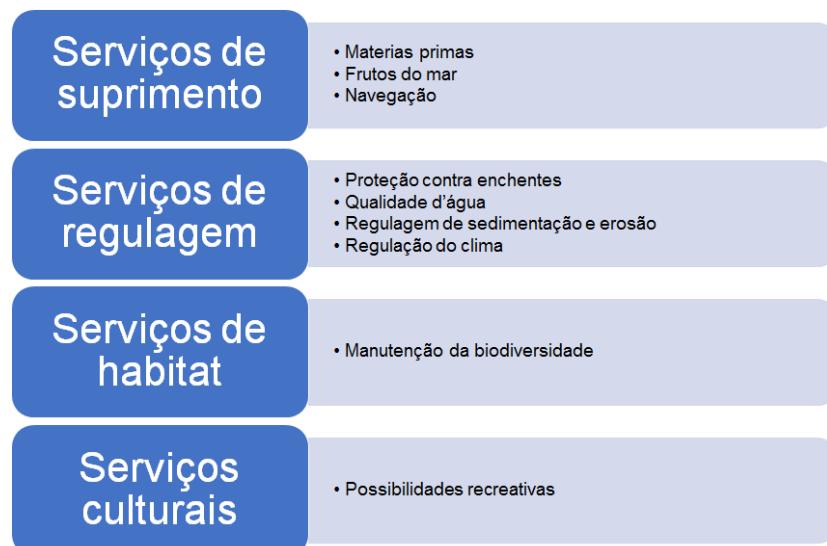
Em geral, a maximização do lucro é entendida como o objetivo dos investimentos no setor privado, enquanto a maximização dos benefícios líquidos sociais é o objetivo conjunto do setor público. Tendo em vista este último objetivo, a Análise do Custo-Benefício Social (SCBA) é usada frequentemente para dar 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 da fundamentação 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, utiliza-se a abordagem de serviços ecossistêmicos, onde as funções existentes no ecossistema são traduzidas em benefícios aos seres humanos. A figura abaixo exemplifica alguns dos serviços ecossistêmicos disponíveis mais comuns.

Figura 16 - Serviços ecossistêmicos comuns aos ecossistemas costeiros



Fonte: (SCHIPPER; VERGOUWEN; MINDERHOUD, 2015).

Os efeitos do desenvolvimento portuário sobre os serviços ecossistêmicos dependem da forma do desenvolvimento e da abundância e qualidade dos serviços disponíveis no local de implantação.

Podemos analisar os alguns dos efeitos sobre os serviços de forma generalizada:

Referente 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 utilizada para a construção obras públicas, alimentação artifi-

cial de praias e construções rodoviárias (MAES; 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.

Analizando-se o impacto sobre o bem-estar social, 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 et al., 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.

Analizando-se o impacto sobre o bem-estar social, espera-se que o porto reduza o serviço ecossistêmico ligado aos frutos do mar. Entretanto, deve-se analisar o grau de redução. 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 preços 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 areias, dunas e ecossistemas

como pântanos, mangues e vegetações costeiras podem atenuar ondas, e como resultado, contribuir para a proteção contra enchentes (GROOT et al., 2014). 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 a construção ou expansão portuária.

Analizando-se o impacto sobre o bem-estar social, deve-se analisar as consequências de uma enchente em potencial. Por exemplo, se uma área densamente povoadas sofrerá danos devido a maior suscetibilidade a enchentes ocasionada pela construção de um porto, o impacto sobre o bem-estar social será maior. 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.

Referente 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 aos acidentes, substâncias anti-incrustantes, águas de lastros, descargas orgânicas, perda de habitat de benthos e ressuspensão de sedimentos. Portanto, assume-se um decréscimo na qualidade da água decorrente do desenvolvimento portuário.

Analizando-se o impacto sobre o bem-estar social, o novo porto servirá de fonte poluidora e de eutrofização. 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 *World Bank* (2003) estimou que houve uma perda de 940 milhões de euros anuais devido a poluição da água nas Filipinas. Em caso de a 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 pode 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, 2010). 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 efeitos sobre o bem-estar social, deve-se analisar os locais sujeitos aos processos erosivos e de sedimentação. Por exemplo, caso os efeitos sobre o balanço de sedimentos acarrete na erosão de uma praia turística, os efeitos sobre o bem-estar social serão muito maiores 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 a regulagem 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.

Manutenção de biodiversidade:

A perda de habitat e mudanças nas condições ambientais (e.g. redução da qualidade da água) devido 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.

Quanto aos efeitos sobre o bem-estar social, deve-se novamente analisar o grau dos impactos sobre o serviço ecossistêmico. Por exemplo, 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. Espécies mais carismáticas, como baleias, focas e pássaros são mais valorizados do que organismos bentônicos (RESSURREICAO, 2012). Desta forma, a redução de espécies carismáticas implica em um efeito negativo maior do que a redução de outras espécies (BARBIER et al., 2011). 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), 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 próximo 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.

Quanto aos efeitos sobre o bem-estar social, deve-se novamente analisar o grau dos possíveis impactos. O porto poderá ocupar uma área que do contrário teria uso recreacional. Se a área já tivesse este uso, o porto terá impactos negativos. Este impacto 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 a redução do transporte terrestre, o que reduz a poluição atmosférica. A ausência do desenvolvimento portuário tende a elevar a poluição atmosférica (TRANSPORT RESEARCH KNOWLEDGE CENTRE, 2009). O efeito positivo ou negativo sobre a poluição do ar dependerá do peso de cada ponto.

Grandes progressos foram alcançados quanto a melhora da qualidade do ar em regiões portuárias ocasionada a redução de emissões. Por exemplo, o Porto de Roterdã implementou um diverso número de leis e medidas para melhorar a qualidade do ar. Gestão dinâmica do tráfego para reduzir congestionamentos foi incorporada no projeto da área do porto. Cobra-se 10% a menos de embarcações ambientalmente

mais limpas, desde que atendam certas normas ISO (ROTTERDAM OFFICE FOR SUSTAINABILITY AND CLIMATE CHANGE, 2011).

Os efeitos sobre o bem-estar social decorrente da poluição atmosférica irão depender do tipo de poluição e a exposição humana. Os efeitos negativos ocasionados pela pior da qualidade do ar podem afetar de forma crônica e aguda a saúde humana. A poluição atmosférica tem sido associada ao câncer pulmonar, doenças respiratórias e cardíacas, crises de asma, e redução da expectativa de vida (KAMPA; CASTANAS, 2007). Os custos à saúde podem ser mensurados considerando-se a perda de produtividade, diminuição da qualidade de vida e redução da expectativa de vida. Os custos de emissão de CO₂ podem ser estimados considerando-se o preço de mercado de CO₂.

Quanto a 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 Roterdã, pavimentos de baixo-ruído foram implementados. O porto também construiu uma barreira acústica para reduzir o nível de ruído no centro da cidade de Roterdã (ROTTERDAM OFFICE FOR SUSTAINABILITY AND CLIMATE CHANGE, 2011).

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 (PASSCHIER-VERMEER; PASSCHIER, 2000). Os efeitos negativos podem ser estimados considerando parâmetros de perda de produtividade e redução da qualidade de vida. CE Delft estimou que os custos sociais decorrentes do ruído do tráfego na União Europeia são superiores a 40 bilhões de euros por ano (CE DELFT, 2007). A poluição sonora também pode afetar a biodiversidade, como mamíferos e pássaros.

Os custos relacionados ao empreendimento portuário envolvem a construção, aquisição, operação e manutenção da infraestrutura. Há ainda outros custos adicionais tais como investimentos em conexões rodoviárias e zonas industriais. A seguir, faz-se uma breve descrição dos custos envolvidos.

Os custos de construção podem ser divididos em: construções novas e expansões. Os custos de construções novas incluem, geralmente, a construção de quebra-

mares, cais, berços, desenvolvimento de instalações de docas secas, edificações, terminais de caminhões e dragagem. Há custos adicionais substanciais associados *land reclamation* ou aquisição de novas áreas. Já os custos de expansão dependem do objetivo da expansão e da localização portuária. Expansões costumam estar frequentemente associadas a processos de *land reclamation* e aquisição de novas áreas (GULER, 2003).

Os custos de manutenção e operação são custos recorrentes. Os custos operacionais envolvem os custos de mão de obra, combustível, seguro, auditoria, *royalties*, segurança e outros custos (BICHOU, 2014).

Os custos de manutenção podem ser divididos em custos de prevenção e manutenção corretiva. A manutenção preventiva costuma ocorrer de maneira programada, tal como dragagem e repintura de estruturas metálicas.

Cada vez mais a dragagem é considerada como uma importante despesa, devido ao aumento do tamanho das embarcações. Os custos associados a dragagem dependem da natureza e quantidade do material a ser dragado (composição e qualidade), frequência, regime de ondas, e custo de mobilização dos equipamentos.

Os menores custos são associados à argila, silte e areias finas e médias, em seguida tem-se a dragagem ou remoção de solos resistentes, grossos e rochas. A disparidade entre os custos de dragagem de cada material pode ser superior a 500%. Contudo, solos resistentes e rochas não possuem dragagem de manutenção.

Há uma diferença de custo entre a dragagem de manutenção e de ampliação. De acordo com o centro de navegação da Usace (2014), o custo de manutenção é de aproximadamente 4 dólares/m³, enquanto a dragagem de implantação é de 16 dólares/m³. A dragagem de implantação envolve a retirada de material compacto e mais resistente, enquanto a dragagem de manutenção envolve materiais menos resistentes, tais como argila, silte e areia fina.

Os benefícios financeiros do porto podem ser separados em benefícios diretos aos operadores ou proprietários e benefícios aos usuários. O efeito mais relevante da construção ou expansão portuária é o aumento da atividade portuária. O benefício direto decorrente do aumento da atividade é o retorno financeiro dos serviços utilizados pelas embarcações, tal como taxa sobre tonelada de carga manuseada (GULER, 2003).

A melhoria das instalações portuárias, aumento da capacidade e diminuição de distâncias de transporte (no caso de novos portos) são os principais efeitos do desenvolvimento portuário para os usuários. Os benefícios aos usuários são principalmente associados a redução de custos relacionados a despesas operacionais e de custos gerais de transporte. A redução do custo operacional surge da redução dos tempos de espera, aumento da produtividade, e economia de escala ao se operar maiores embarcações, no caso de aumento da profundidade e largura dos canais. O principal benefício de operar embarcações maiores é a redução dos custos de transporte. Por exemplo, o custo de transporte de uma embarcação de 3000 toneladas é de aproximadamente 70 dólares por tonelada, enquanto para uma embarcação de 17000 toneladas, reduz-se o custo para 22 dólares por tonelada (GULER, 2003).

Os benefícios ao bem-estar social ocorrem devido a diminuição dos custos que resultam ou em aumento do lucro aos usuários do porto ou em redução dos preços aos consumidores, aumento do nível de emprego nas regiões associadas diretamente ao porto e também em regiões não conectadas diretamente. O desenvolvimento portuário também acarreta em aumento de atração de companhias devido a melhoria na localização.

Operações portuárias envolvem diversos riscos e a sua mitigação é passível de ocorrer no projeto do porto 'sem-impacto'.

Tabela 4 - Medidas para redução dos efeitos da operação portuária

Risco	Probabilidade	Custos	Medida	Alternativa 'sem-impacto'	Impacto no caso de negócio
Falta de profundidade	Alta	Alto	Dragagem	Escolha de local com profundidade natural que não necessite de dragagem	Depende do custo do local alternativo
Impossibilidade de entrada de navios e amarração devido a condições marítimas	Determinada	Alto	Construir quebra-mares	Escolha de local com proteção natural	Depende do custo do local alternativo
Limite de emissão de CO2	Limitada	Dependente da regulação vigente	Adaptar-se as regulações vigentes	Utilizar fontes renováveis de energia sempre que possível e gerar energia localmente	Depende dos preços de energia
Padrões ambientais futuros	Média	Dependente da legislação	Adaptar-se a legislação	Adaptar-se durante a fase de projeto	Negativo
Cientes exigem operações 'sem-impacto'	Limitada	Alto	Adaptar-se de acordo com as exigências dos clientes	Adaptar-se durante a fase de projeto	Negativo
Mudanças climáticas	Depende da vida útil do projeto	Depende da vida útil do projeto e da localização	Nenhuma	Escolher local menos exposto e utilizar uma estratégia de gestão adaptável	Negativo

Fonte: (SCHIPPER; VERGOUWEN; MINDERHOUD, 2015).

Assim, resumiu-se os princípios gerais utilizados para determinar os efeitos do desenvolvimento portuário sobre o bem-estar social. 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 através 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 *stakeholders* do ecossistema costeiro, como pescadores, companhias de dragagem e os habitantes locais. Entretanto, para que seja possível financiar o empreendimento portuário, o empreendimento deve possuir um caso positivo de negócio. Quando se trata de um porto público, o governo pode subsidiar o desenvolvimento portuário. Ao se tratar de 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 *stakeholders*. O desenvolvimento do porto sob gestão ecosistêmica 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 pode contribuir significativamente para desenvolver soluções inovadoras. O desenvolvimento portuário pode ser estimulado através de um *positive branding*, condicionalidade de empréstimos e cooperação entre governos e iniciativa privada.

3.4.6. Aplicação do conhecimento no planejamento e desenvolvimento do porto ‘sem-impacto’

Conclui-se no capítulo 2 que os possíveis 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 ‘sem-impacto’ reside na morfologia do sistema. O distúrbio de habitats inteiros com funções importantes prejudicará o funcionamento do ecossistema e o degradará. No porto ‘sem-impacto’ este distúrbio deve ser evitado. O potencial de impacto de um porto sustentável 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 *stakeholders* e reguladores. A gestão ecossistêmica é a abordagem gerencial desejada para o desenvolvimento portuário sustentável. Também podem ser adicionados ao projeto portuário: escolha de soluções de eco-engenharia, e escolha de uma localização que exija ajustes mínimos ao sistema natural e que leve em consideração o funcionamento dos habitats.

Como discutido no capítulo 3, operações portuárias, 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 ‘sem-impacto’ 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 (e.g. portos *offshore*) em combinação com técnicas inovadoras de amarração podem reduzir os impactos causados pelas estruturas de proteção 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.

No capítulo 4, considerou-se diversos modelos portuários que permitem o desenvolvimento de modelos portuários. Nos modelos de 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 ‘sem-impacto’, os diferentes *stakeholders* precisam estar envolvidos e os desenvolvimentos privados devem ser conduzidos por leis e regulações. Em geral, o desenvolvimento portuário pode ocorrer a partir da cooperação entre governos e *stakeholders* para gerar um projeto financeiramente viável com um caso de negócio favorável. O resultado do processo de discussão dos *stakeholders* 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, precisamos considerar a geração dos benefícios sustentáveis gerados pelos portos ‘sem-impacto’ a 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 podem ser utilizadas para direcionar os riscos do desenvolvimento portuário para o setor público. Portos privados oferecem oportunidades para o desenvolvimento portuário ‘sem-impacto’ 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.

Como explanado no capítulo 5, o porto ‘sem-impacto’ considera os impactos negativos tanto no meio ambiente quanto nos *stakeholders*. Governos e reguladores facilitam o desenvolvimento de infraestrutura portuária sustentável a partir de leis ou regulações e instrumentos financeiros (subsídios, impostos, e garantias sobre incertezas). Um porto ‘sem-impacto’ tende a exigir maiores investimentos para a sua execução e maiores custos operacionais do que um porto tradicional. Esta é uma suposição válida pois caso os custos de um porto ‘sem-impacto’ fossem inferiores, já existiriam portos com características mais sustentáveis. Os portos operam dentro de um ambiente no qual necessitam encontrar um equilíbrio entre os interesses das diferentes partes (incluindo o Governo) e as demandas econômicas da hinterlândia. Dada a política de responsabilidade social corporativa, alguns portos já estão publicando um número de indicadores a respeito de questões sociais e econômicas. Quando olhamos as oportunidades, é importante perceber quais são os interesses e motivações dos tomadores de decisão. Um caso de negócio de um porto ‘sem-impacto’ pode se tornar favorável caso os custos de construção sejam mínimos e a rentabilidade alta. O desenvolvimento do porto ‘sem-impacto’ pode ser estimulado utilizando-se uma promoção positiva de imagem, condicionalidade de empréstimos ou cooperação ativa entre o setor público e privado.

3.4.7. Conclusões:

O escopo do relatório do Porto do Futuro é alcançar um desenvolvimento portuário sustentável de longo prazo, ou ainda, estabelecer o programa de desenvolvimento portuário ‘sem-impacto’ como uma iniciativa sustentável 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 ‘sem-impacto’ que estejam em harmonia com o ecossistema e sejam robustas ou adaptáveis a mudanças.

Os potenciais impactos do desenvolvimento portuário ‘sem-impacto’ no ecossistema costeira será específico de cada caso, dependendo da vulnerabilidade do sistema aos diferentes impactos e medidas mitigadoras. Capítulo 2.

É necessário avaliar o estado atual do ecossistema costeiro, feedback 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. Capítulo 2 e 6.

Serviços ecossistêmicos podem ser utilizados para avaliar os impactos dos efeitos sócio-econômicos sobre o ecossistema costeiro. Capítulo 2, 5 e 6.

Um porto ‘sem-impacto’ viável financeiramente pode ser mais oneroso para se construir e operar. Capítulo 5.

Os principais incentivos econômicos para se projetar um porto de forma alternativa ou tomar medidas mitigadoras são os custos e eficiência associados aos processos de sedimentação e erosão nos canais de acesso e bacias. Capítulo 2, 3,5 e 6.

Os maiores riscos e oportunidades para o desenvolvimento do porto ‘sem-impacto’ reside na morfologia do sistema: a utilização de profundidades naturais para reduzir a necessidade de dragagem de implantação e manutenção, e consequentemente, reduzir os impactos nos habitats. Capítulo 3 e 6.

Visto que a localização do porto é crucial para diversas disciplinas, é desejável que a escolha do local seja parte do projeto, já que a escolha do local e o restante do projeto estão intimamente relacionados e podem afetar a gestão operacional. Capítulo 6.

Diversas disciplinas no desenvolvimento do porto ‘sem-impacto’ estão relacionadas e podem, portanto, influenciar e reforçar umas às outras para alcançar um bom equilíbrio ambiental em conformidade com o crescimento econômico. Capítulo 6.

A gestão ecossistêmica é uma abordagem de gestão relevante e necessária para o desenvolvimento do porto ‘sem-impacto’. Capítulo 6.

A criação conjunta de conhecimento considerando diversas disciplinas (ecologia, morfologia, governança e sócio economia) com todos os *stakeholders* é necessária para o desenvolvimento ótimo do porto ou de sua expansão. Capítulo 6.

Em geral, o desenvolvimento portuário ‘sem-impacto’ pode ser realizado com a cooperação de Parcerias Público-Privadas para se produzir um projeto financeiramente viável com um caso de negócio positivo. Capítulo 6.

3.5. PORTO CONCENTRADOR DE CARGA E CABOTAGEM

Em sua pesquisa para gerar um sistema de informações dos indicadores que configuram o porto concentrador de carga (“*hub port*”), Moreira (2009) diz: “denominam-se portos concentradores de carga 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 das escalas dos navios; (III) melhores resultados energéticos e ambientais que apresentam 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, aumento este que é repassado para o custo final das mercadorias comercializadas. Para permitir a plena carga dos navios e consequentemente tornar o transporte mais econômico, deve-se fornecer portos dotados com infraestrutura e superestrutura capaz 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, os logísticos 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 et al., (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 na Ásia (por exemplo, Porto de Shangai, Porto de Singapura e Porto de Busan), Europa (como os portos de Rotterdam e Antuérpia) e América do Norte (tais como os portos de Los Angeles e Long Beach). Entretanto, o mesmo autor observa que o Porto de Santos detém o melhor resultado na soma dos requisitos de porto concentrador de carga no Atlântico Sul.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1. ANÁLISE DA SOLUÇÃO *OFFSHORE*

4.1.1. Introdução

A concepção de obras portuárias para o desenvolvimento de projetos básicos e executivos deve considerar a análise do oferecimento de condições de proteção das embarcações-tipo contra ação dos ventos, ondas e correntes para possibilitar 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 construção de portos prevê, essencialmente, condições naturais de abrigo, como canais estuarinos, que demandam poucas obras de melhoramento e de proteção. Historicamente, a grande maioria dos portos de grande relevância mundial, como o Porto de Roterdã, Shangai, Le Havre e Santos, desenvolveram-se inicialmente ao longo do estuário, e posteriormente sofreram grande expansão que exigia a ampliação das instalações portuárias em direção ao mar.

De acordo com dados da literatura, a escolha do tipo de obra de abrigo depende da disponibilidade de enrocamento, profundidade, onda de projeto e condição de fundação. É desejável que as ondas produzidas por ventos ou passagem de embarcações não ultrapassem limites definidos em projeto de acordo com a dimensão da obra a ser construída.

O aumento no tamanho das embarcações associado ao aumento na demanda comercial e movimentação de cargas, teve como consequência direta a necessidade de se aumentar a profundidade das áreas náuticas, como o canal de acesso, bacia de evolução e berços de atracação que devem ser dimensionados a partir do calado dessas novas embarcações e das condições da maré da região.

Assim, verifica-se que além da necessidade de se estabelecer áreas abrigadas, soma-se também a necessidade por profundidades compatíveis com o tipo de embarcação. Considerando-se os problemas relacionados ao estudo de caso do Porto de Santos, contemplados no item 3.2 do capítulo 3, esse projeto buscou como solução a implementação de um porto *offshore* dimensionado a partir dos critérios de abrigo e profundidade, atentando-se também à viabilidade técnica, econômica e ambiental.

4.1.2. Metodologia

O processo metodológico do enfoque portuário para a elaboração da solução dos problemas do Porto de Santos seguiu o seguinte procedimento: definição do layout, dimensionamento das áreas náuticas e verificação da área abrigada.

Para a elaboração do layout do projeto do porto *offshore*, foi necessário estabelecer e dimensionar as áreas abrigadas com grandes profundidades naturais que pudessem possibilitar a atracação de embarcações de grande porte, como o *Post Panamax Plus* e o *Triple E*.

Por se tratar de uma obra desprovida de abrigos naturais, além da necessidade de se verificar informações sobre a direção, altura e período das ondas que incidem diretamente no porto, que podem ser obtidos através da rosa de ondas da região, deve-se analisar o comportamento da variação do nível de maré que são dados determinados por institutos de pesquisa e listados em tábuas de maré.

Figura 17 - Mapa da região a ser implantada a obra



Fonte: Adaptado de (GOOGLE MAPS, 2017).

Definiu-se, a partir do mapa da região obtido por imagens de satélite e da carta náutica, três alternativas de layout que pudessem atender aos requisitos necessários

de abrigo de um porto. Todas as alternativas elencadas buscaram profundidades naturais superiores a 15 metros e dispostas de modo a evitar a perda da vista turística (poluição visual) da praia do Guaiúba, no Guarujá.

4.1.2.1. Definição do Layout

A região escolhida a ser implantada a obra se situa a aproximadamente 2 km da costa em que se localiza a praia Saco do Major. É uma praia deserta com cerca de 400 metros de extensão, cercada de morros e vegetação da Mata Atlântica. A existência dessas formações rochosas próximo a orla dificultam o acesso de carros e aproximação de barcos na costa.

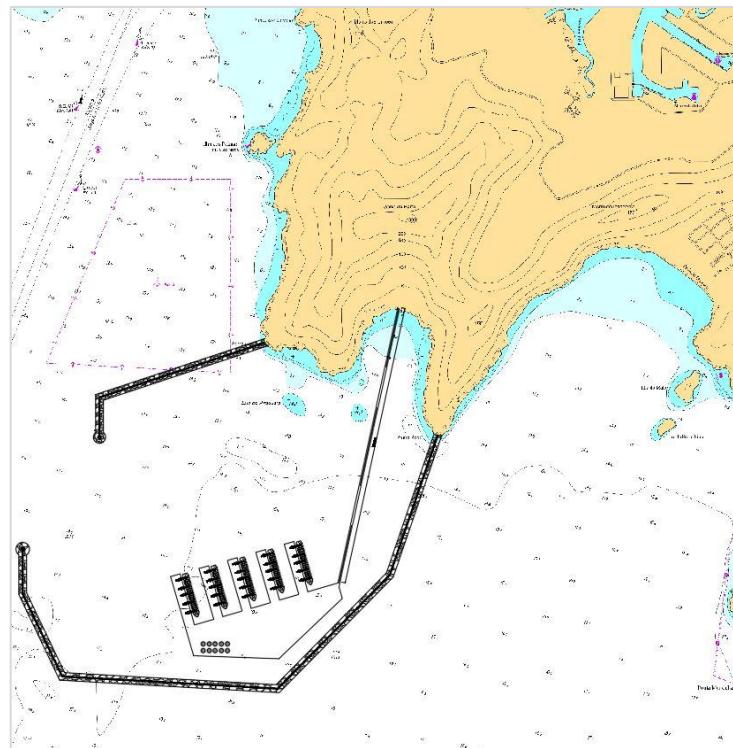
A concepção da disposição e do formato das obras de abrigo foi baseado em um estudo preliminar considerando primariamente a direção das ondas e a profundidade da região visando reduzir os custos com dragagem.

Alternativa 1: Consiste de dois molhes que estão conectados na extremidade do maciço rochoso que cerca a praia Saco do Major, seguido de um píer que proporcionou a criação de dárseas para promover a atracação das embarcações e o transbordo de cargas do porto até as áreas retroportuárias localizadas no continente.

Os molhes possuem cerca de 6.670,25 m de extensão total, com a área do porto somando aproximadamente 488.590,50 m². Apesar de apresentar uma grande região abrigada e uma extensa área destinada às manobras das embarcações, essa alternativa exibe um alto custo de implantação relacionada à construção das obras de abrigo, que demandam elevados volumes de enrocamento. Além do custo, verifica-se que a dinâmica sedimentar associada às correntes litorâneas ao longo da costa sofrerá interferência dos molhes, resultando em processos de acréscimo e engordamento da praia à barlamar e erosão das áreas à sotamar.

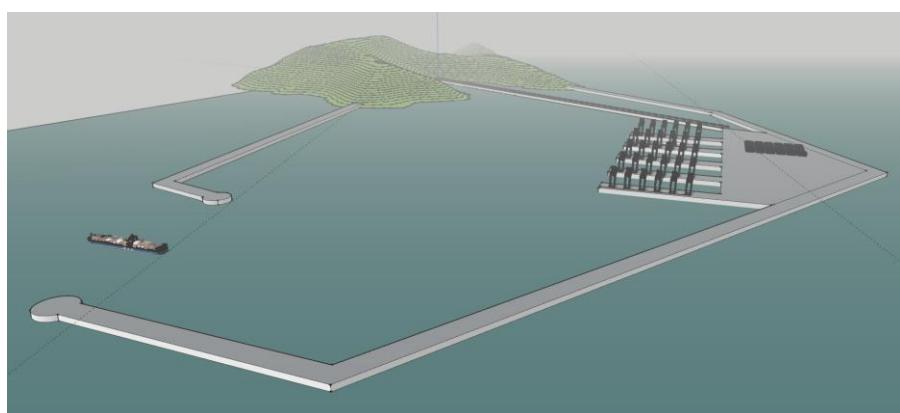
Tendo em vista os conceitos alusivos ao desenvolvimento de portos flexíveis enunciados no capítulo 3, a necessidade de uma eventual expansão ou adaptações das instalações portuárias dessa alternativa é inconcebível e economicamente inviável, pois a largura do píer foi dimensionada a partir das extensões dos molhes e é limitada pela área interna definida por essa obra, que por sua vez só poderá sofrer alterações mediante a uma modificação no projeto e com um elevado acréscimo no custo total da obra.

Figura 18 - Layout 1: representação do quebra-mar na Carta Náutica



Fonte: Autor.

Figura 19 - Layout 1: representação 3D do quebra-mar



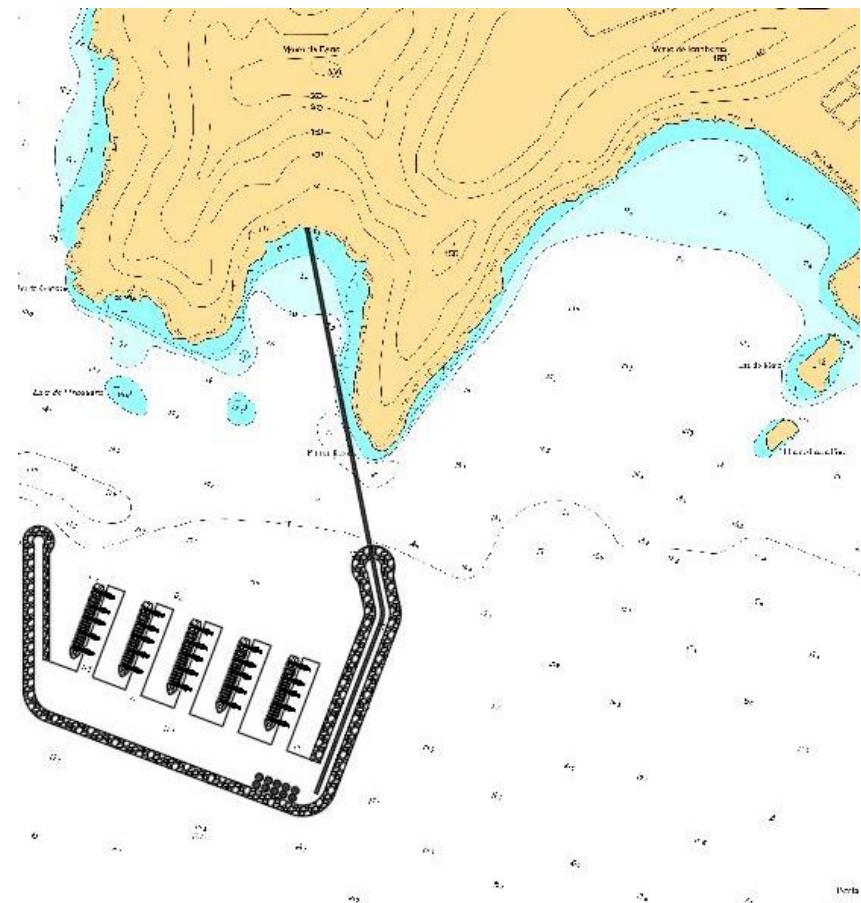
Fonte: Autor.

Os problemas ocasionados pela construção dos molhes não compensam a adoção dessa alternativa como uma solução definitiva de expansão do Porto de Santos. Considerando as adversidades de custo total da obra advindo da construção do molhe e da interferência na dinâmica sedimentar da praia, pensou-se na substituição desse tipo de abrigo por um quebra-mar com um píer integrado, mantendo-se o mesmo número de dársenas que a primeira alternativa apresentava.

Alternativa 2: A adoção de um quebra-mar ao invés dos molhes resolve o problema do transporte de sedimentos ao longo da costa, visto que as correntes litorâneas responsáveis pela dinâmica sedimentar não terão nenhum obstáculo que poderia resultar em perturbações e consequentes problemas erosivos como ocorre na primeira alternativa. A conexão entre a praia Saco do Major e o porto é feito através de estruturas sustentadas por pilares espaçados adequadamente, de modo a não interferir no comportamento das correntes.

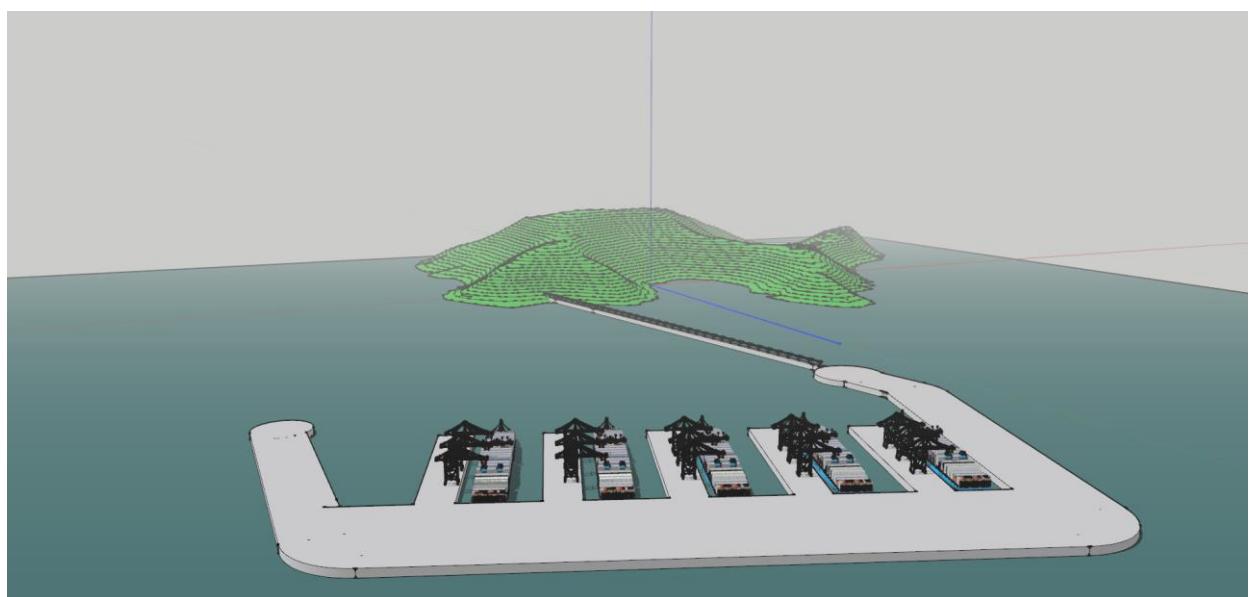
Esse layout, apesar de apresentar muitas conveniências e vantagens em relação a primeira alternativa elencada, manteve o mesmo problema de adaptação em virtude da incapacidade de sofrer futuras e eventuais expansões das áreas portuárias. Tendo como exemplo um aumento na demanda e no transporte de contêineres no porto, pode-se ocasionar a necessidade de se criar dársenas adicionais. Verificando-se o layout dessa alternativa, nota-se que não é possível ampliar o número de berços de atracação sem que haja a necessidade de desestruturar grande parte do quebra-mar já existente para incluir essas adaptações no modelo de expansão do porto.

Figura 20 - Layout 2: representação do quebra-mar na Carta Náutica



Fonte: Autor.

Figura 21 - Layout 2: representação 3D do quebra-mar



Fonte: Autor.

A partir dos problemas pautados das duas alternativas anteriores, concebeu-se uma terceira alternativa. Essa solução teve o *layout* fundamentado no porto Pecém localizado no litoral do nordeste brasileiro. Este consiste de um quebra-mar em formato de “L” que apresenta sete bacias de atracação e comporta embarcações tanto de contêineres quanto de granel líquido e sólido. A conexão entre o porto e a costa é feita através da mesma forma que foi exposta na primeira e segunda alternativa - por meio de monotrilhos adaptados para o transporte de contêineres suspensos e com tubulações de granel líquido e esteiras integradas para o transporte de granel sólido.

Alternativa 3: Oferece todas as vantagens que as outras opções dispõem e foi concebida evitando estruturas na extremidade do quebra-mar de forma a evitar 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.

Com o objetivo de resumir as alternativas em função das características levadas em consideração para ponderar a escolha da melhor solução, foi criada uma matriz de decisão com 3 fatores avaliadas com notas de 0 a 10 (0 sendo desfavorável ou não desejável e 10 favorável). Assim, obteve-se, para fatores referentes ao abrigo de ondas, extensão da estrutura e flexibilidade da estrutura (capacidade de adaptação e expansão), a seguinte matriz:

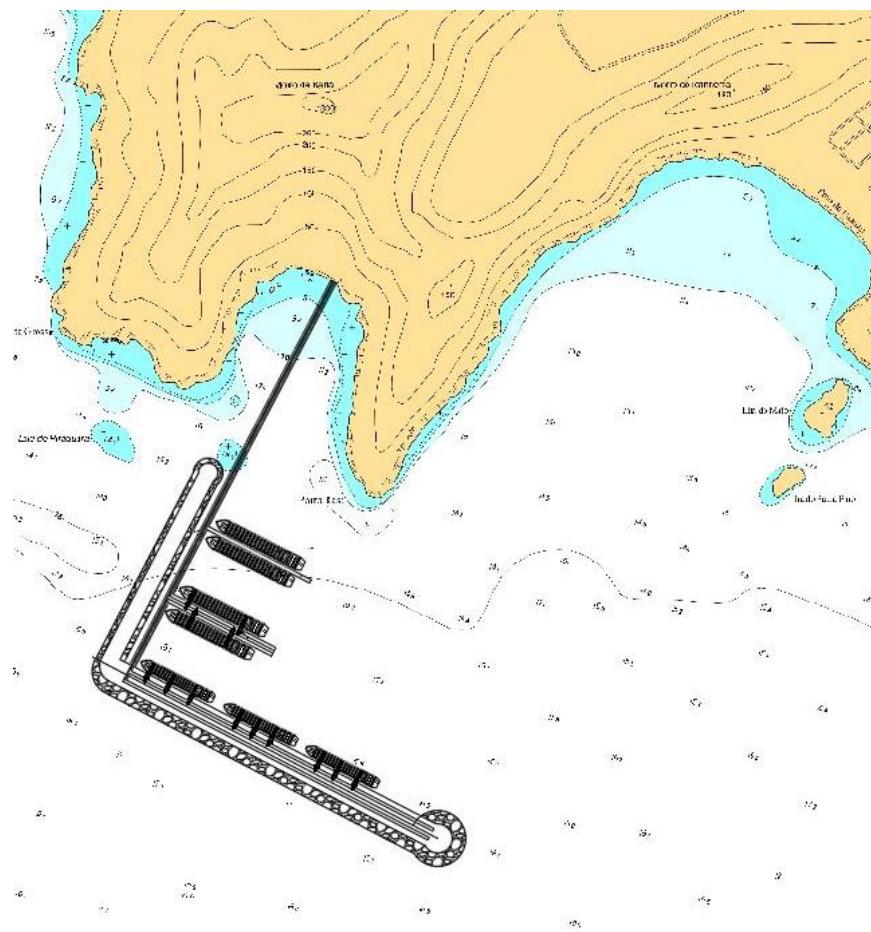
Tabela 5 - Matriz de decisão para avaliação das alternativas

Alternativas	Abrigo contra ondas	Extensão	Flexibilidade	Total
1	10	5	2	17
2	8	6	4	18
3	5	8	10	23

Fonte: Autor.

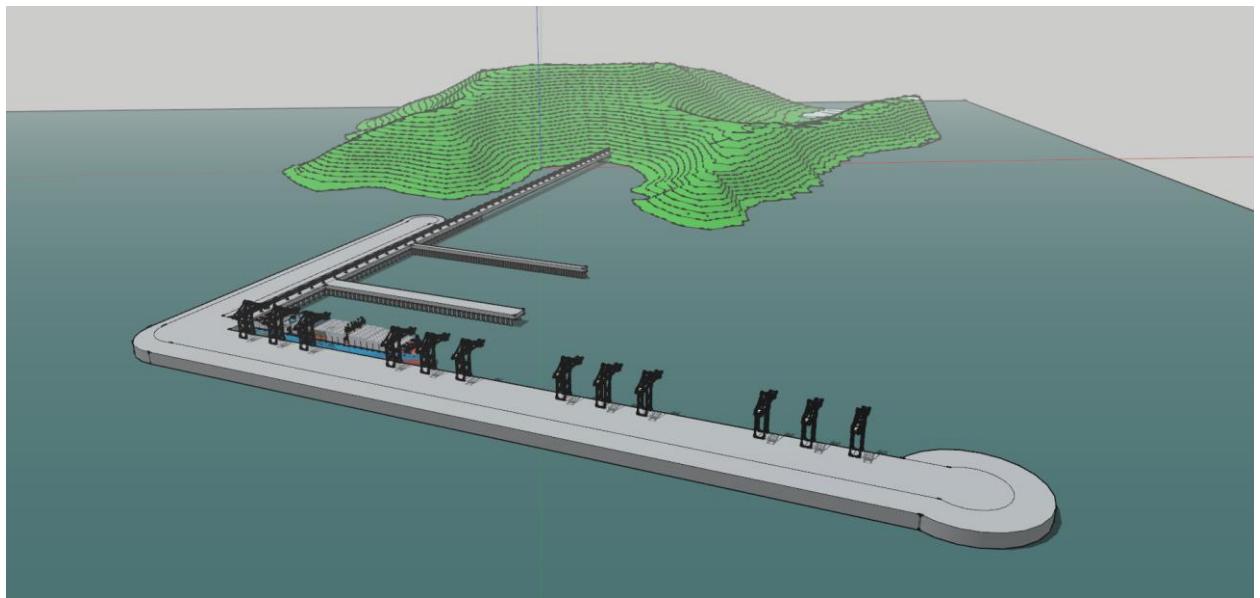
Por meio de software de modelagem 3D foi possível expor de maneira apurada uma representação em escala do projeto, fornecendo-se uma boa noção da capacidade e das dimensões do porto e das embarcações.

Figura 22 - Layout 3: representação do quebra-mar na Carta Náutica



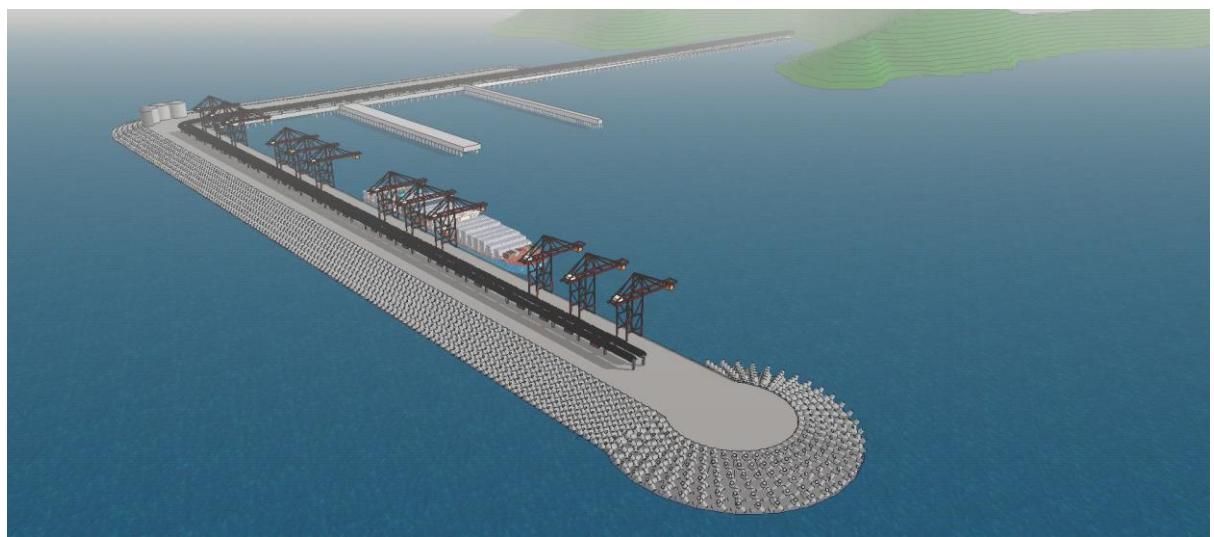
Fonte: Autor.

Figura 23 - Layout 3D: representação 3D do quebra-mar



Fonte: Autor.

Figura 24 - Modelagem 3D da solução final do porto offshore

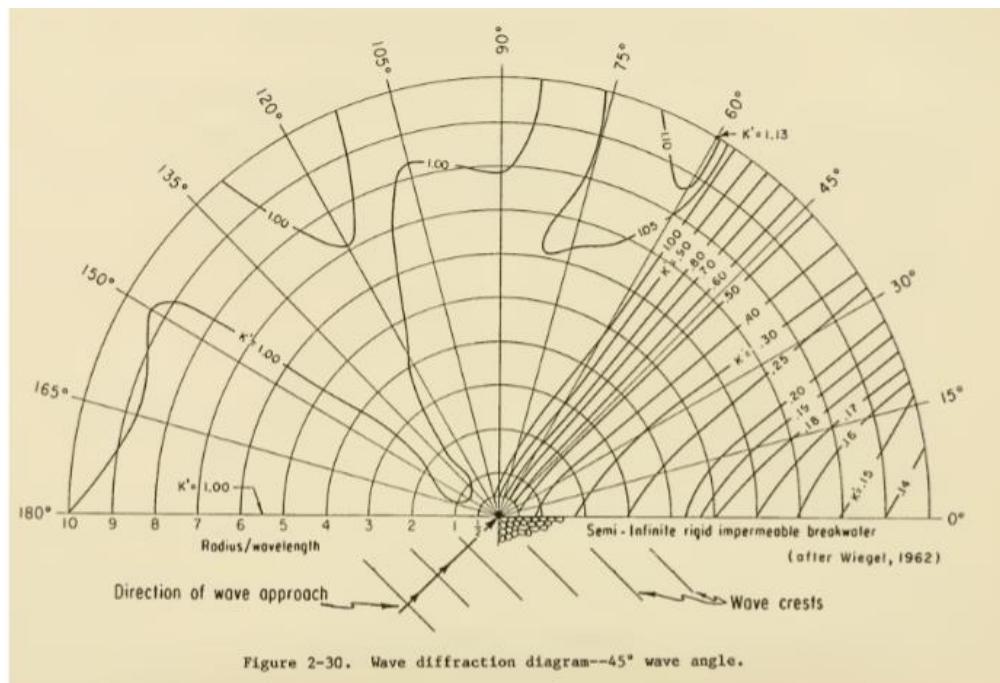


Fonte: Autor.

4.1.2.2. Abrigo de Ondas

A determinação da área abrigada das ondas considerando efeitos da difração pode ser verificado por meio da sobreposição do diagrama de Wiegel, conforme apresentado na imagem a seguir:

Figura 25 - Diagrama de Wiegel 45° utilizado para o dimensionamento do abrigo



Fonte: (BOSHEK, 2009).

Deve-se determinar o ângulo de ataque das ondas que está sempre referenciado ao norte verdadeiro e, então, os ângulos de incidência das ondas de aproximação que estão orientados pelo obstáculo. Para determinar o ângulo de aproximação, analisa-se as rosas de ondas da região, que além de expor a direção, tem-se também a indicação do período e da altura das ondas.

A princípio, calcula-se o parâmetro matemático que delimita a região abrigada da região não protegida, designada pela letra k' . Esta variável permite delimitar a divisão entre essas duas áreas e pode ser calculado através da relação entre a altura máxima de onda admissível junto a área de atracação das embarcações e a onda incidente de projeto, ou seja, altura de onda significativa corresponde à média do terço máximo das ondas obtidas em dados históricos.

Em concordância com a recomendação da PIANC WG 28 (2003) para o procedimento de cálculo, adotou-se um valor de altura de onda admissível dentro do porto de aproximadamente 50 cm. Conforme foi obtido através de dados históricos referentes às alturas de ondas, medidos pela praticagem de Santos, o valor da altura da onda de projeto a ser tratada será de 3,0 metros, obtendo-se assim:

$$k' = \frac{H}{H_S} = \frac{0,5}{2,5} \cong 0,20$$

O período T da onda foi estimado baseando-se na rosa de ondas e considerando-se um cenário crítico. A partir do ângulo, nota-se que a incidência das ondas tem direções predominantemente advindas do Sul e do Sudeste, e segundo as informações contidas na rosa, apresentam períodos menores que 10 segundos em mais de 95% dos dados medidos.

O comprimento da onda incidente pode ser obtido por meio das seguintes fórmulas:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$L = \frac{g * T}{\omega}$$

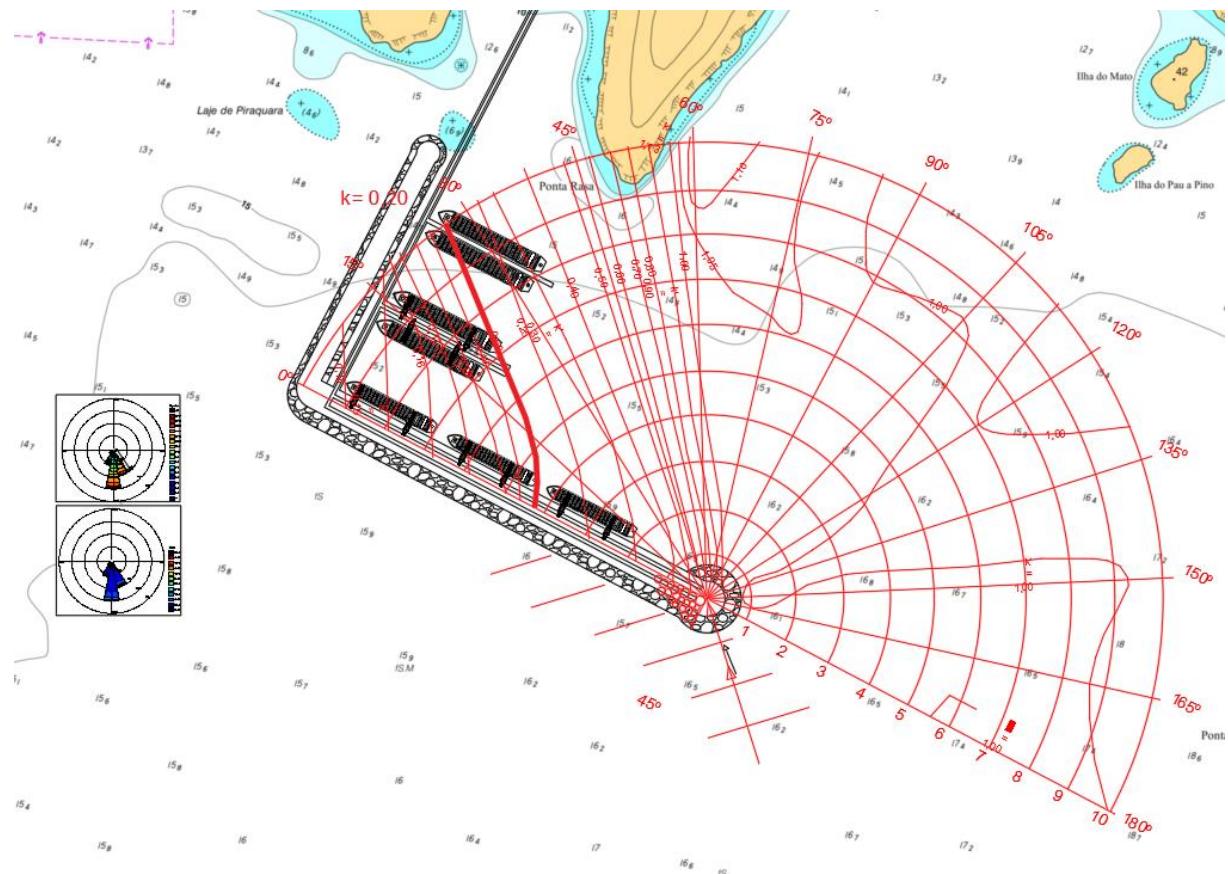
Assim, para o período T = 10 segundos adotado, tem-se que:

$$L = \frac{gxT^2}{2\pi} = \frac{9,81 \times 10^2}{2\pi} \cong 156,13 \text{ metros}$$

A partir deste valor, verifica-se que o raio do diagrama, que corresponde a 10 vezes o valor do comprimento da onda, resulta em aproximadamente 1560 metros na carta náutica.

Considerando que o ângulo das ondas incidentes utilizado no projeto conforme a disposição do quebra-mar seja de 45° e com base nos valores dos parâmetros de cálculo necessário para determinar a área abrigada através do diagrama, procedeu-se com a sobreposição do diagrama na escala ajustada na proporção do mapa.

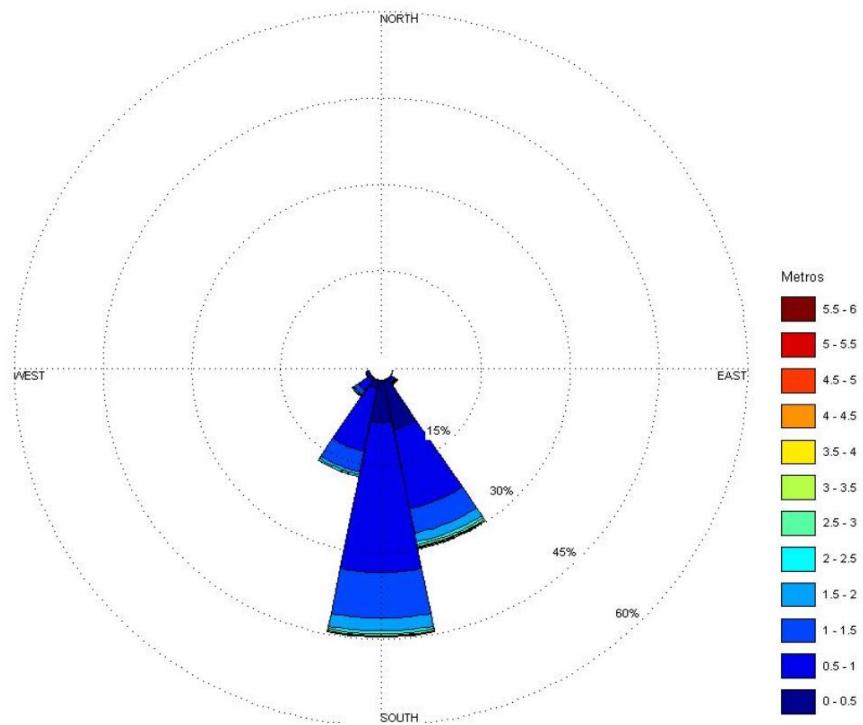
Figura 26 - Sobreposição do diagrama de Wiegel na carta náutica



Fonte: Autor.

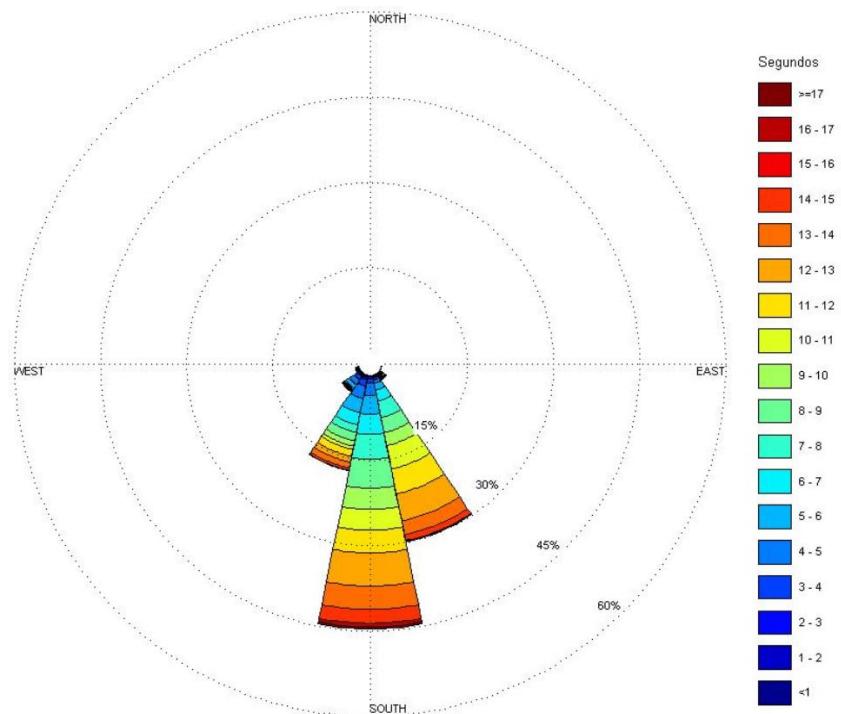
As informações contidas na imagem anterior fornecem uma estimativa de boa aproximação da área abrigada das ações da difração das ondas que incidem no quebra-mar da solução de expansão *offshore* escolhida. A linha vermelha de maior espessura estabelece esse limite, onde a região à esquerda corresponde a área abrigada. É possível concluir, portanto, que a configuração e a disposição idealizadas nesse projeto oferecem, considerando valores de parâmetros mais conservadores, um abrigo suficiente para que mais de 50% do porto tenha suas operações funcionando. Esse valor poderia ser aumentado se fosse considerado um cenário menos conservador para a análise de abrigo da estrutura, mas tratando-se de uma obra dessa magnitude foi necessário majorar tais parâmetros para se obter um resultado compatível.

Figura 27 - Rosa de altura de ondas do Porto de Santos



Fonte: (FCTH, 2016).

Figura 28 - Rosa de período de ondas do Porto de Santos



Fonte: (FCTH, 2016).

Figura 29 - Modelagem da solução final do porto *offshore* - Detalhe do berço



Fonte: Autor.

4.1.2.3. Dimensionamento das Áreas Náuticas

A acessibilidade marítima diz respeito à compatibilidade do local do porto em relação ao tipo de embarcação que frequentará o local, no que diz respeito às dimensões da embarcação-tipo (comprimento, boca e calado) no canal de acesso, nas bacias portuárias (de espera ou evolução) e nos berços de acostagem.

Portanto, o canal de acesso deve possuir profundidade e largura mínimas para permitir a passagem do cargueiro-tipo, além de espaços no próprio porto para manobras de atracação e desatracação (bacias de evolução), bacia de espera e bacia de berço.

Tabela 6 - Características gerais das embarcações usadas no dimensionamento das áreas náuticas

Tipo de Cargueiro	Post Panamax	Post Panamax Plus	Triple E
Comprimento pp - Lpp (m)	275	335	400
Boca - B (m)	32,2	46	59
Calado - T (m)	13	15	16
TEU	5000	9000	18340

Fonte: (ALFREDINI et al., 2014; MAERSKLINE, 2014).

I. Profundidade do Canal de Acesso

A profundidade mínima requerida no canal de acesso deve levar em consideração fatores relacionados ao nível d'água, ao navio e também ao fundo. Através de métodos determinísticos, soma-se aspectos relacionados à maré local, efeitos de

onda, afundamento dinâmico paralelo acrescido ao trim (denominado de squat) e calado estático da embarcação.

i. Nível de Maré

Fator de grande influência para a determinação da situação crítica associada à obtenção da profundidade exigida pela embarcação em trânsito. O nível de maré a ser considerado deve ser o correspondente à baixa-mar, incluindo efeitos meteorológicos, visto que representa a situação mais desfavorável, ou seja, o nível de menor profundidade.

Considerando-se as tábuas de maré dos últimos 19 anos do local em estudo (Porto de Santos), levantou-se os dados relativos ao nível máximo, mínimo e médio da maré. A partir dos valores expostos na tabela, a soma da maré astronômica ao valor do nível de maré não astronômica, obteve-se -0,3 metros.

Calado estático desfavorável

O valor do calado estático desfavorável corresponde ao momento em que o navio está carregado, ou seja, apresenta maior valor de calado. No caso das embarcações Triple E, esse valor é de 16 metros.

ii. Tolerância para incertezas do calado estático

De acordo com a norma, a tolerância adotada para as incertezas do calado estático equivale a $0,0015 \times L_{pp} = 0,4125$ metros.

Squat

O *squat* e o trim da embarcação podem ser definidos como o afundamento da embarcação causado tanto por translação quanto rotação devido à velocidade de avanço e interação com o fundo e taludes do canal.

Para analisar este fator, considera-se a formulação recomendada pela PIANC WG 28 (2003):

$$Squat (m) = 2,4 \times \frac{V}{L_{pp}^2} \times \frac{Fr^2}{\sqrt{(1 - Fr^2)}}$$

Sendo:

- $V = C_B \times L_{pp} \times B \times T$: volume de deslocamento.
- L_{pp} : comprimento da embarcação entre perpendiculares.

- **B**: boca ($B = 59$ metros)
- C_B : coeficiente de bloco ($C_B = 0,68$)
- **T**: calado estático ($T = 16$ metros)
- **Fr**: número de Froud, sendo

$$Fr^2 = \frac{V^2}{g \times h}$$

- **V**: velocidade da embarcação ($V = 10$ nós)
- **g**: aceleração da gravidade local ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)
- **h**: profundidade do canal. Esse valor corresponde à profundidade do canal já dragado. Estima-se esse valor como 110% do valor do calado estático máximo ($h = 1,1 \times 16 = 17,6$ metros)
- **1 nó = 0,514 m/s**

Com isso, tem-se que:

$$Fr = \frac{10 \times 0,514}{\sqrt{9,81 \times 17,6}} = 0,391$$

$$Squat (m) = 2,4 \times \frac{0,65 \times 16 \times 59 \times 400}{400^2} \times \frac{0,391^2}{\sqrt{(1 - 0,391^2)}}$$

$$\therefore Squat (m) = 0,612 \text{ metros}$$

iii. Folga Líquida Sob a Quilha

A folga líquida sob a quilha, de acordo com o item 3.1.3.2 da NBR 13246/95, deve ter valores entre 0,3 e 0,5 metros para leitos arenosos. Para o projeto, adota-se 0,4 metros.

iv. Tolerâncias para Incertezas do Leito

Usualmente, adota-se um valor de 10% do calado estático máximo. Ou seja, $0,1 \times 16 = 1,6$ m.

v. Tolerância na Execução da Dragagem

De acordo com o item 3.2.3.1 da NBR 13246/95, define-se que a tolerância na execução da dragagem para águas rasas deve ter um valor de até 0,3 metros.

Somando-se todos os fatores que compõem o cálculo da profundidade necessária do canal de acesso interno e externo, obteve-se um valor aproximado de 20,8 metros. O local onde será implantada a obra do porto *offshore* apresenta uma profundidade natural de cerca de 16 metros. Portanto, será necessário realizar uma dragagem inicial de 4,8 metros que corresponde a aproximadamente 30% da profundidade

natural do canal. O volume a ser dragado não apresenta custos extremamente elevados a ponto de inviabilizar a obra no quesito econômico. Caso a diferença entre a profundidade necessária e a natural resultasse em valores acima de 50% da profundidade natural, as demandas por taxas de dragagens periódicas de manutenção seriam muito elevadas, aumentando-se consideravelmente os custos.

Tabela 7 - Fatores para o dimensionamento da profundidade do canal de acesso

Fatores	Externo (m)	Interno (m)
Nível de maré	0,3	0,3
Calado estático desfavorável	16	16
Tolerância para incertezas no calado estático	0,41	0,41
Squat	0,61	0,61
Efeito de onda	-	-
Folga líquida sob a quilha	0,4	0,4
Incertezas do leito e da dragagem	1,9	1,9
	19,62	19,62

Fonte: (ALFREDINI; ARASAKI, 2013).

II. Largura do Canal de Acesso

A largura do canal de acesso deve ser suficiente para permitir a manobra dos navios. Para considerar todos os fatores que influenciam no cálculo da largura, a PI-ANC adota um procedimento de dimensionamento que leva em conta 13 fatores que são somados à faixa básica de manobra para compor a faixa de manobra.

i. Canal Externo

Tabela 8 – Fatores para dimensionamento da largura do canal externo

Fator	Classificação	Acréscimo
Manobrabilidade	Moderada	1,5*B
Velocidade da embarcação	Moderada (10 nós)	0,0*B
Ventos transversais prevalecentes	Moderado	0,4*B
Correntes transversais prevalecentes	Moderada	0,7*B
Correntes longitudinais prevalecentes	Moderada	0,1*B
Altura significativa e comprimento de onda	$1 < Hs < 3$	1,0*B
Auxílios à navegação	Moderado	0,2*B
Superfície de fundo	Profundidade $< 1,5*T$	0,1*B
Profundidade da via navegável	$\geq 1,25*T$ e $< 1,5*T$	0,1*B
Nível de periculosidade da carga	Baixa	0,0*B
Intensidade de tráfego	Leve	0,0*B
Folga com a margem	Bancos de areia	1,0*B
Largura para canais de mão única	-	-
TOTAL		5,1*B

Fonte: (ALFREDINI; ARASAKI, 2013).

Assim, o valor da largura necessária do canal de acesso, considerando o valor de boca do navio igual a 59 metros, equivale a 271,4 metros.

ii. Canal Interno

Tabela 9 - Fatores para dimensionamento da largura do canal interno

Fator	Classificação	Acréscimo
Manobrabilidade	Moderada	1,5*B
Velocidade da embarcação	Moderada (10 nós)	0,0*B
Ventos transversais prevalecentes	Moderado	0,4*B
Correntes transversais prevalecentes	Moderada	0,5*B
Correntes longitudinais prevalecentes	Moderada	0,1*B
Altura significativa e comprimento de onda	$1 < Hs < 3$	0,0*B
Auxílios à navegação	Moderado	0,2*B
Superfície de fundo	Profundidade $< 1,5*T$	0,1*B
Profundidade da via navegável	$\geq 1,25*T$ e $< 1,5*T$	0,0*B
Nível de periculosidade da carga	Baixa	0,0*B
Intensidade de tráfego	Leve	0,0*B
Folga com a margem	Bancos de areia	1,0*B
Largura para canais de mão única	-	-
TOTAL		3,8*B

Fonte: (ALFREDINI; ARASAKI, 2013).

Para o canal interno, o valor da largura determinado equivale a 194,7 metros.

iii. Bacia de Evolução

Define-se como a área fronteiriça às instalações de acostagem, reservada as evoluções necessárias às operações de atracação e desatracação dos navios no porto. A bacia de evolução deve estar numa área protegida de ondas, correntes fortes, ventos e livre de obstruções como passagem de dutos e cabos submarinos. É função do comprimento e da manobrabilidade das embarcações e do tempo disponível para efetuar a manobra.

O cálculo da profundidade da bacia de evolução se assemelha ao cálculo do canal de acesso, desconsiderando os itens associados ao movimento da embarcação, ou seja, desconsidera-se o efeito do *squat* e adota-se a folga mínima sob a quilha de 1 metro.

Tabela 10 - Cálculo da profundidade requerida na bacia de evolução

Fatores	Valor (m)
Nível de maré	0,30
Calado estático desfavorável	16
Tolerância para incertezas no calado estático	0,41
<i>Squat</i>	-
Efeito de onda	-
Folga líquida sob a quilha	1,00
Incertezas do leito e da dragagem	1,90
<i>P</i> _{mín}	19,61

Fonte: (ALFREDINI; ARASAKI, 2013).

Com relação ao diâmetro requerido, tem-se que a dimensão ótima corresponde a um diâmetro de quatro vezes o comprimento da embarcação-tipo, podendo ser reduzido a até duas vezes este comprimento com a consequência de exigir mais tempo de manobra e necessitar de rebocadores. Para esse projeto, considerou-se:

$$\text{Diâmetro} = 2 \times 400 = 800 \text{ metros}$$

iv. Bacia de Espera

Também são chamadas de áreas de fundeio, as bacias de espera são áreas destinadas à espera dos navios que chegam ao porto e aguardam autorização para acesso e fundeio nas áreas internas ou atração no cais determinado.

A profundidade necessária na bacia de espera é calculada a partir dos mesmos fatores ilustrados no cálculo da profundidade da bacia de evolução.

Tabela 11 - Cálculo da profundidade requerida na bacia de espera

Fatores	Valor (m)
Nível de maré	0,30
Calado estático desfavorável	16
Tolerância para incertezas no calado estático	0,41
Squat	-
Efeito de onda	-
Folga líquida sob a quilha	1,00
Incertezas do leito e da dragagem	1,90
$P_{mín}$	19,61

Fonte: (ALFREDINI; ARASAKI, 2013).

Para embarcações fundadas em uma única âncora, o raio necessário é de 5 vezes a profundidade somado ao comprimento do navio e a uma folga para eventuais movimentações da âncora de 5 metros. Já para aquelas que dispõem de uma âncora à vante e outra à ré, a circunferência necessária para manter a embarcação afilada com as correntes e o vento é de 1,5 vezes o comprimento.

$$R = 1,5 \times 400 = 600 \text{ metros}$$

$$\text{Largura} = 2 \times 600 = 1200 \text{ metros}$$

O procedimento de cálculo da bacia de espera é feito da mesma maneira que da bacia de evolução, conforme o item iii.

v. Berço de Acostagem

É um espaço no cais, entre cabeços de amarração, em que o navio pode atracar para operar, embarcar e desembarcar cargas em segurança.

A profundidade do berço de acostagem pode ser calculada da mesma maneira que foi feito para a bacia de espera e para a bacia de evolução, salvo pelo fator do efeito de onda, pois o berço de acostagem já está estabelecido em um local protegido das ondas. Tem-se, portanto:

Tabela 12 - Cálculo da profundidade requerida no berço de acostagem

Fatores	Valor (m)
Nível de maré	0,30
Calado estático desfavorável	16
Tolerância para incertezas no calado estático	0,41
Squat	-
Efeito de onda	-
Folga líquida sob a quilha	1,00
Incertezas do leito e da dragagem	1,90
$P_{mín}$	19,61

Fonte: (ALFREDINI; ARASAKI, 2013).

O comprimento necessário é de 1,5 vezes o comprimento do maior navio de projeto e a largura necessária é de 1,5 vezes a boca do mesmo. Caso, disponha-se de rebocadores estes valores são reduzidos à 1,25 vezes. Portanto:

$$\text{Comprimento} = 1,25 \times 400 = 500 \text{ metros}$$

$$\text{Largura} = 1,25 \times 59 = 73,75 \text{ metros}$$

Tabela 13 - Resumo das dimensões dos canais e das bacias

Trecho	Largura requerida (m)	Profundidade requerida (m)	Comprimento requerido (m)
Canal externo	271,4	20,81	-
Canal interno	194,7	20,81	-
Bacia de evolução	800	20,8	-
Bacia de espera	1200	20,8	-
Berço de acostagem	73,75	20,8	500

Fonte: (ALFREDINI; ARASAKI, 2013).

O dimensionamento tomou por base características associadas ao nível de maré, ao tipo de embarcação, que é composto principalmente por fatores como calado estático desfavorável, tolerâncias para incertezas no calado estático, squat e efeito de onda, e por características relacionadas ao fundo do oceano como incertezas do leito e da dragagem. O valor obtido a partir desses fatores provém de recomendações e procedimentos feitos pela PIANC WG 28 (2003) para a determinação das características náuticas.

Partindo-se das mesmas condições adotadas no procedimento utilizado, obteve-se, a partir de outro critério de dimensionamento que segue a norma espanhola ROM 1.0-09 (2010), um valor de profundidade compatível que converge com o valor

calculado com o método da PIANC. Assim, verifica-se que o valor obtido conduz a bons resultados para o dimensionamento do porto e das áreas náuticas do projeto.

4.2. ANÁLISE DO TRANSPORTE

4.2.1. Introdução

Após discorrer sobre todo o estudo da implantação da solução *offshore*, surgiu um novo problema que seria como fazer a ligação entre o quebra-mar em mar aberto e o continente para fazer o tráfego dos contêineres e dos granéis tanto sólidos quanto líquidos. Para isso, pensou-se na alternativa de construir uma ponte ligando a obra à cidade do Guarujá, alternativa esta que foi descartada após se analisar os grandes impactos que seriam gerados no transporte dos sedimentos através da costa pelos pilares e estruturas de apoio à ponte, além de não ser uma opção econômica e ambientalmente sustentável.

Para tanto, graças à parceria entre a Promon Engenharia e a *EagleRail Container Logistics*, apresentada pelo Professor Mestre Diego Cartacho, foi possível que, junto com o projeto sustentável do Porto de Santos, fosse adotado também um sistema sustentável de transporte de contêineres e granéis sólidos e líquidos através do conceito desenvolvido pela *EagleRail*. Este sistema inovador propõe que o transporte de contêineres seja feito através de um sistema de monotrilhos, similar a um sistema de teleféricos, possibilitando que haja um fluxo grande e organizado das cargas que chegam ao porto e ao mesmo tempo não interfiram no transporte litorâneo que ocorre na costa visto que a obra de abrigo é destacada do continente e os pilares que sustentam o sistema de monotrilho são muito mais esbeltos que o de uma ponte.

A adoção do sistema *EagleRail* ainda trouxe um outro benefício que atingiu diretamente o dimensionamento do quebra-mar. Por ser um sistema rápido e organizado de transferência de carga, este possibilitou que a estrutura *offshore* não necessitasse de área de retroporto ou uma área para estocagem de carga. Assim, os contêineres e granéis descarregados dos navios seriam automaticamente acoplados ao *EagleRail* e levados para o continente, onde seriam estocados até que fossem levados para seu destino final.

Assim, com a adoção do sistema *EagleRail*, foi possível a concepção de um projeto sustentável e viável de expansão para o porto de Santos. Os detalhes do estudo aprofundado acerca deste sistema e de sua aplicação ao caso do Porto de Santos serão discorridos nos capítulos subsequentes.

4.2.2. Sistema de transporte de cargas via monotrilho: o *EagleRail*

Concluído o enfoque para a análise do dimensionamento da expansão *offshore*, concebeu-se uma solução inovadora para sanar os problemas relacionados ao transporte de cargas do porto para áreas retroportuárias, compostas de pátios de estocagem e armazenamento, e à carência de infraestrutura dos sistemas de interligação com outros modais.

Essa solução baseada em uma perspectiva voltada para o enfoque sustentável toma por base os problemas associados ao aumento do tráfego rodoviário, acúmulo de embarcações nas áreas náuticas e ao excesso de emissão de poluentes nocivos e gases constituintes do efeito estufa. Busca-se, portanto, ampliar a eficiência no transbordo de cargas e descongestionar as rodovias, inibindo-se a formação de gargalos logísticos de maneira sustentável.

O mecanismo de transporte projetado pela *EagleRail* consiste de uma combinação de monotrilhos composta de estruturas mecânicas que sustentam cargas suspensas e as transportam em um fluxo contínuo entre as áreas de transbordo e os locais de estocagem ou até a conexão com outros modais.

As principais vantagens da *EagleRail* consistem principalmente de quatro fatores que se fundamentam em soluções complementares de transporte, problemas ambientais, facilidade de implementação e manutenção, segurança das cargas e previsibilidade. Em vista disso, destaca-se a seguir os seguintes benefícios:

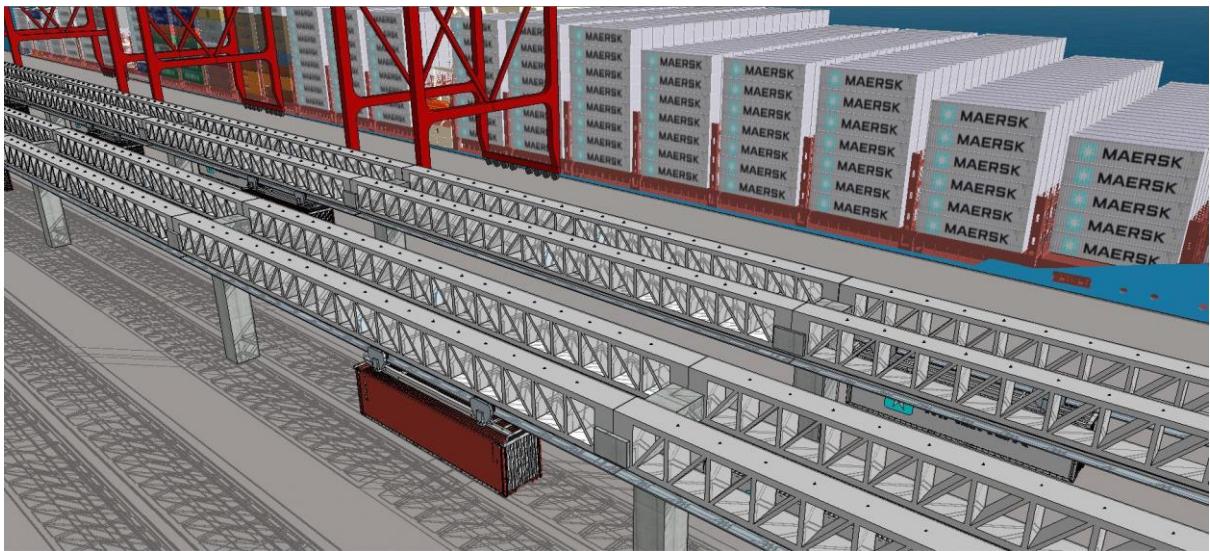
- Possibilidade de operar como alternativa e sistema de integração com outros modais
- Não competem pelo espaço escasso utilizado pelos modais rodoviários
- Tecnologia limpa com emprego de eletricidade
- A parte superior do trilho é aberta e composta por painéis para geração de energia solar
- Baixo impacto ambiental comparado com outros modais

- Não exige grandes áreas para implantação
- São estruturas que podem ser construídas em módulos
- Integram 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 dos benefícios citados, esse sistema de transporte está embasado em fundamentos que sustentam o conceito de Porto do Futuro, que são materializados através 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.

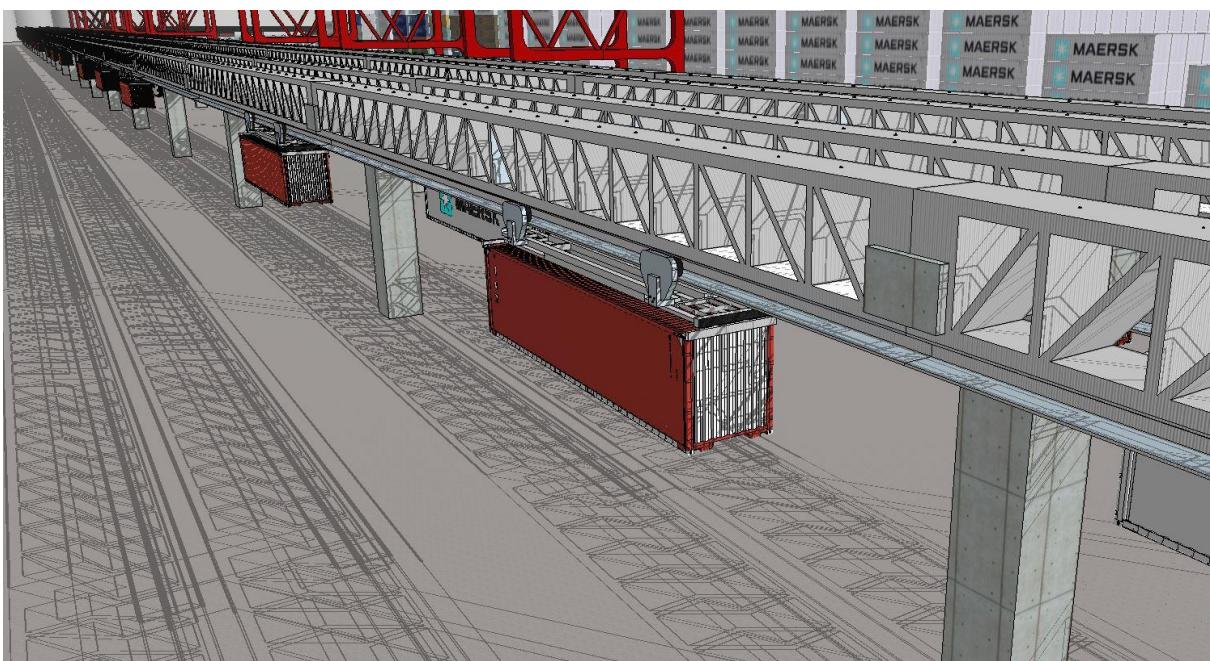
Somando-se essa alternativa de transporte de cargas ao enfoque da expansão *offshore* do Porto de Santos, engendra-se uma solução que assimila e integra características baseadas nos conceitos teóricos referentes ao Porto do Futuro, Portos Flexíveis e *Building with Nature*. Tendo-se assim, um porto *offshore* com transporte de carga, que não segue o sistema de transporte dos modelos de portos tradicionais.

Figura 30 - Modelagem da solução final do porto offshore - Detalhe do monotrilho



Fonte: Autor.

Figura 31 - Modelagem da solução final do porto offshore - Detalhe da movimentação de carga



Fonte: Autor.

4.2.3. Metodologia

Para o estudo da implantação da solução *EagleRail* com o objetivo de fazer a conexão do quebra-mar *offshore* com a hinterlândia do transporte das cargas, foi necessário estudar a fundo o mapa da região do porto. Por conveniência, não haveria outra solução senão instalar o monotrilho na cidade do Guarujá, o que facilitaria e encurtaria o caminho da obra. Assim, inicialmente foi realizada uma reunião com o

CEO da *EagleRail* que expôs as limitações físicas da tecnologia, permitindo então que se procedesse à escolha dos traçados em planta.

Para a escolha dos traçados, foi criada uma matriz de decisão com pesos diversos e notas de 0 a 5 para garantir uma escolha imparcial e melhor embasada. Foram selecionados sete traçados diferentes com base no conhecimento da região e estes foram analisados através da matriz. Mais detalhes sobre esta etapa serão descritos a seguir.

4.2.3.1. Traçados

Após vasto estudo da região, estudo dos locais em campo e sobrevoos feitos com drone, pode-se definir, então, sete traçados que atendiam os pré-requisitos mínimos do sistema *EagleRail*. Após esta etapa, para a definição do melhor traçado, foi usada uma matriz de decisão que será mais detalhada no próximo subcapítulo. A seguir, é mostrada uma imagem da cidade do Guarujá com os sete traçados pré-escalhados:

Figura 32 - Alternativas de traçados avaliadas



Fonte: Adaptado de (GOOGLE MAPS, 2017).

Apesar de a cidade do Guarujá ter um relevo que contribui muito para a instalação do sistema de monotrilho, notou-se que, logo na entrada do continente, havia uma grande formação montanhosa que poderia trazer problemas para implantação do sistema. Dessa forma, foi avaliado um traçado que contornasse a formação e os outros que a atravessavam. Foi feita filmagem por drone, para ter um melhor panorama

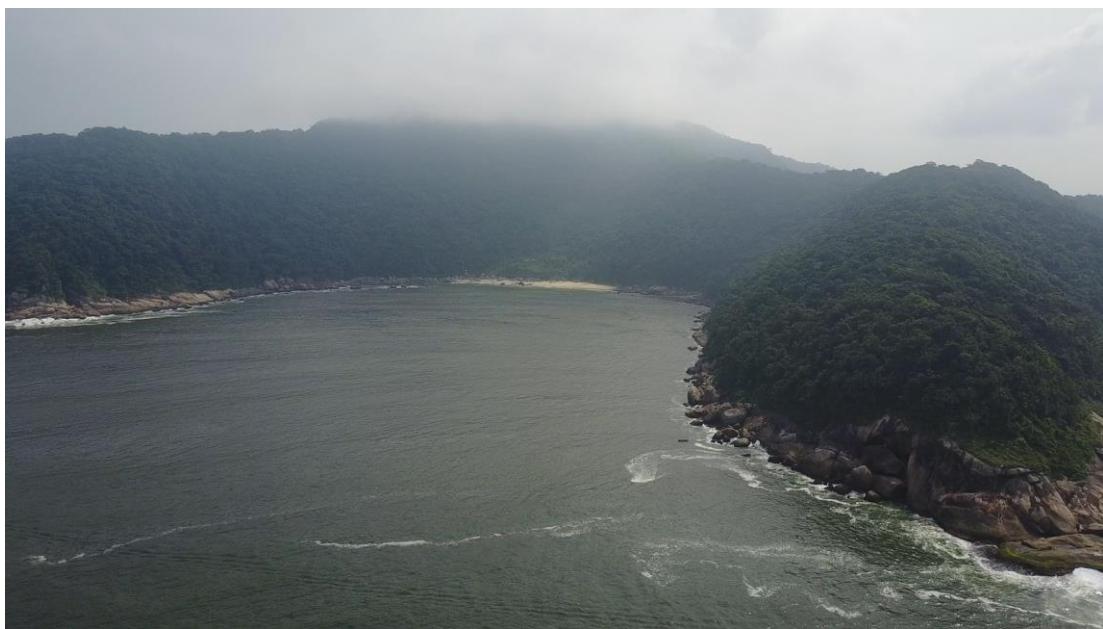
da situação e as imagens foram comparadas com a imagem obtida por satélite. Abaixo são demonstradas as imagens do drone e a obtida por satélite:

Figura 33 - Vista 3D do traçado 3



Fonte: Adaptado de (GOOGLE MAPS, 2017).

Figura 34 - Foto aérea feita por meio de drone



Fonte: Autor.

Como forma de buscar uma alternativa ao relevo acidentado do início do traçado, foi feita uma reunião com o CEO da *EagleRail* que pôde esclarecer que, devido

à grande declividade do terreno, não seria possível implantar o monotrilho neste trecho. Segundo ele, a grande declividade poderia causar problemas de tração entre o equipamento-suporte e o cabo que faria a movimentação devido à falta de atrito entre eles. Isso poderia fazer com que o equipamento patinasse no cabo e isso poderia causar acidentes. Foi definido que a declividade máxima que o *EagleRail* consegue vencer é de 6% a 7% (podendo chegar a até 7,6% em casos específicos) e no estudo de caso para aplicação nesse projeto a declividade máxima poderia chegar a 46%.

Após muita discussão e pesquisa sobre o assunto, foi definido que a melhor maneira de transpor esta declividade seria através da construção de um túnel subterrâneo. O CEO da *EagleRail* apresentou uma pesquisa acerca do assunto, onde outros portos no mundo pensaram em construir túneis para transpor obstáculos e a alternativa se mostrou viável. Assim, foi definido que, para vencer a cadeia de montanhas do início do traçado, havia duas possibilidades: fazer o contorno da região ou construir um túnel. Devido aos altos custos por quilômetro do sistema de monotrilho, o túnel se mostrou mais viável.

4.2.3.2. Matriz de Decisão

As alternativas para a definição dos traçados foram avaliadas de acordo com diversos critérios. Para isso, foi necessário o estudo aprofundado da região, da forma como a cidade se organiza e como é a distribuição populacional ao longo do ano por se tratar de uma região de turismo e haver grande assimetria demográfica.

Ao longo deste estudo, considerou-se a maior gama possível de fatores de forma a buscar implementar as soluções logísticas com a menor interferência possível tanto na vida dos cidadãos quanto físico-geográfica e ambiental. Assim, foram elencados sete itens de decisão que se enquadram no estudo de viabilidade econômico-técnico-ambiental do projeto a ser implantado, atribuindo ainda, pesos associados à relevância de cada item.

Após a análise do mapa atualizado via satélite da região e da experiência local dos integrantes do grupo, sempre levando em conta a menor interferência possível, chegou-se a sete possíveis traçados sendo que todos eram viáveis econômica e geograficamente.

Para uma análise mais profunda e imparcial, optou-se por adotar uma matriz de decisão, elencando os sete traçados nas linhas e os sete critérios de seleção nas

colunas. Multiplicaram-se as notas dadas a cada traçado pelo respectivo peso e, ao final, foi realizada a soma. O traçado que obteve a maior soma foi então escolhido.

Os sete critérios adotados para a avaliação dos traçados foram: (I) Relevo, com peso 4; (II) Comprimento do traçado, com peso 2; (III) Desapropriações, com peso 2; (IV) Passagem em lugares de difícil acesso, com peso 2; (V) Impactos ambientais, com peso 3; (VI) Interferência com rios, com peso 2; (VII) Interferência com serviços consolidados (marina, estaleiro, etc.), com peso 2. A soma dos pesos totalizou 17 pontos. Uma breve explanação sobre cada critério é apresentada a seguir:

i. Relevo

A Ilha de Guarujá possui um relevo característico, com grandes extensões de praias circundadas por algumas montanhas. Neste critério, foi analisado o relevo ao longo de toda a extensão dos sete traçados. Todos os traçados apresentavam relevo muito plano desde a linha ferroviária próxima à Rodovia Cônego Domênico Rangoni até a parte de entrada do sistema *EagleRail* na Ilha, tendo uma notória diferença nesta entrada. Seis dos traçados apresentam desniveis muito importantes na entrada, chegando a até 141 metros de altura, enquanto um dos traçados apresentava relevo aproximadamente regular.

Para o caso do relevo foi atribuído peso 4 devido à importância deste item. Relevos muito acidentados ou com desniveis muito elevados tendem a gerar custos muito grandes além de dificultar a implantação da solução. Além disso, como o sistema de transporte se trata de um monotrilho, a presença de grandes desniveis pode limitar a ação do sistema, podendo levar a ser necessária a terraplenagem de uma faixa de passagem ou mesmo a elevação dos pilares para buscar amenizar este desnível.

A seguir são apresentados os relevos característicos de cada traçado com as informações mais pertinentes ao lado:

Figura 35 - Resumo dos perfis dos traçados

**TRAÇADO 1**

Altura mínima: 3 metros
 Altura média: 16 metros
 Altura máxima: 136 metros
 Distância X até o pico: 266 metros
 Comprimento total: 8.400 metros
 Inclinação (min / máx): -39,5% / 40,9%

TRAÇADO 2

Altura mínima: 0 metros
 Altura média: 13 metros
 Altura máxima: 53 metros
 Distância X até o pico: 1.130 metros
 Comprimento total: 11.200 metros
 Inclinação (min / máx): -23,4% / 31,9%

TRAÇADO 3

Altura mínima: 4 metros
 Altura média: 22 metros
 Altura máxima: 136 metros
 Distância X até o pico: 302 metros
 Comprimento total: 8.690 metros
 Inclinação (min / máx): -40,9% / 42,8%

TRAÇADO 4

Altura mínima: 3 metros
 Altura média: 22 metros
 Altura máxima: 141 metros
 Distância X até o pico: 209 metros
 Comprimento total: 7.490 metros
 Inclinação (min / máx): -31,3% / 45,9%

TRAÇADO 5

Altura mínima: 3 metros
 Altura média: 24 metros
 Altura máxima: 136 metros
 Distância X até o pico: 373 metros
 Comprimento total: 7.900 metros
 Inclinação (min / máx): -27,8% / 40,3%

TRAÇADO 6

Altura mínima: 2 metros
 Altura média: 21 metros
 Altura máxima: 136 metros
 Distância X até o pico: 375 metros
 Comprimento total: 7.460 metros
 Inclinação (min / máx): -27,8% / 43,0%

TRAÇADO 7

Altura mínima: 1 metros
 Altura média: 19 metros
 Altura máxima: 139 metros
 Distância X até o pico: 304 metros
 Comprimento total: 7.320 metros
 Inclinação (min / máx): -30,6% / 39,1%

Fonte: Autor.

ii. Comprimento do Traçado

O comprimento do traçado é o critério que leva em conta a distância entre o início do sistema de transporte por monotrilhos (*EagleRail*) até a chegada à linha de trem, próximo à Rodovia Cônego Domênico Rangoni. Este critério é extremamente importante dado que o comprimento do traçado acarreta grandes custos para a implantação final. Quanto mais enxuto for o traçado, mais econômico e menos investimento será necessário para construir monotrilhos (e, por conseguinte menos investimento será necessário para sua manutenção).

Nos possíveis traçados vislumbrados, o comprimento é aproximadamente igual exceto o traçado dois, que possui um comprimento muito maior devido a sua posição de inserção no continente. Assim, a tabela abaixo relaciona os sete traçados e seus respectivos comprimentos:

Tabela 14 - Tabela resumo dos comprimentos dos traçados

Alternativas	Comprimento
Traçado 1	8.400 metros
Traçado 2	11.200 metros
Traçado 3	8.690 metros
Traçado 4	7.490 metros
Traçado 5	7.900 metros
Traçado 6	7460 metros
Traçado 7	7.320 metros

Fonte: Autor.

Como exposto acima, o traçado dois apresenta o maior comprimento, de 11,2 quilômetros de extensão, enquanto o traçado mais enxuto é o traçado 7, com apenas 7,36 quilômetros. É possível observar também que excetuando o traçado dois, a diferença entre o maior e o menor traçados é de apenas 1,33 quilômetros (traçados 3 e 7) enquanto que a diferença entre o maior traçado e o segundo maior traçado (traçados 2 e 3) é de 2,51 quilômetros, ou seja, uma diferença de 104% entre elas.

Foi atribuído peso dois para este critério devido aos custos acima citados, porém este critério é menos restritivo que relevante, por exemplo, que pode inviabilizar completamente a implantação.

iii. Desapropriações

Como já é esperado em obras urbanas, os custos com desapropriações devem ser considerados e analisados de forma cautelosa. De maneira estimada, foram levadas em consideração todas as possíveis áreas de desapropriação. Para essa estimativa, analisou-se os traçados e então as possíveis áreas a serem desapropriadas. Não se entrou no mérito de valores, apenas na área propriamente dita.

A partir da análise das imagens de satélite verificou-se que quatro dos sete traçados apresentavam a mesma área de desapropriações pois passavam pelo mesmo caminho dentro dos bairros consolidados. Dos outros três traçados restantes, um apresentava uma grande área de desapropriações incluindo áreas públicas (campo de futebol da cidade) e o outro apresentava uma área consideravelmente menor de desapropriações, com possíveis adaptações para diminuir ainda mais essa área.

Na foto abaixo é possível ver a área que inviabilizou a desapropriação nos traçados um, dois, cinco e seis. Essa área compreende o late Clube de Santos, importante clube e marina de barcos de luxo além da região da travessia Santos-Guarujá via balsa que causa congestionamentos frequentes e tem grande fluxo de tráfego.

Figura 36 - Interferência do traçado com o late Clube de Guarujá



Fonte: Adaptado de (GOOGLE MAPS, 2017).

Na imagem anterior, destaca-se o traçado um na cor vermelha, o traçado dois na cor azul escuro, o traçado cinco na cor azul claro e o traçado seis na cor lilás.

Abaixo, ilustra-se a região que inviabiliza as desapropriações do traçado 3, com a menor nota (nota 1), destacando-se em vermelho o Estádio Municipal do Guarujá. O traçado três é o de cor verde.

Figura 37 - Interferência do traçado com o estádio de futebol



Fonte: Adaptado de (GOOGLE MAPS, 2017).

Para o critério “desapropriações” foi atribuído peso dois devido aos custos inerentes à retirada de famílias e estabelecimentos comerciais, das possíveis indenizações e realocação dessas pessoas/serviços.

iv. Passagens em Lugares de Difícil Acesso

No critério “passagens em lugares de difícil acesso” foi levado em consideração, entre outros aspectos, construções, relevo irregular (montanhas), mangues, rios e quaisquer outros pontos que dificultassem tanto a instalação dos monotrilhos quanto a movimentação de equipamentos, máquinas, operários, etc. Nesse sentido, os traçados um, dois e seis obtiveram nota igual devido à passagem em áreas muito parecidas (ou iguais). O traçado 4 obteve a maior nota por passar em áreas de fácil acesso e o traçado 3 novamente obteve a pior nota (nota 1) por passar em regiões montanhosas ou com edificações importantes. O traçado cinco obteve nota 2.

Para este critério foi adotado peso dois devido a importância da facilidade de acesso ao longo da execução da obra, além de garantir viabilidade de implantação das soluções em campo.

v. Impactos Ambientais

A região costeira onde será implantado o sistema de transporte de carga via monotrilho abriga uma diversidade de ecossistemas de elevada relevância ambiental. Por se tratar de áreas de mangues, restingas, estuários, deltas e dunas, com grande riqueza natural, é necessário uma regulamentação e legislação no processo de ocupação, gestão e controle da costa.

Segundo a ANTAQ (Agência Nacional de Transportes Aquaviários), são considerados como impactos ambientais, alterações causadas pelo homem das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, que comprometam a qualidade de vida da população, manutenção do ecossistema, disponibilidade e qualidade dos recursos naturais e condições estéticas e sanitária do ambiente natural.

Para avaliar os impactos associados a essas obras, é necessário fazer uma análise das possíveis fontes de dispersão de resíduos, volume e local de descarte da areia retirada por dragagem, desmatamento para alocação das instalações, volume de rocha utilizado como enrocamento para obras de abrigo e emissão de poluentes derivados do transporte de materiais ao local da obra.

Com objetivo de garantir a minimização desses impactos ambientais, o instrumento usado pelo governo para avaliar a adequação ambiental da obra é o processo de licenciamento ambiental que é uma obrigação legal e prévia à instalação de qualquer empreendimento. É um procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental licencia o local, instalação e operação de atividades que utilizam recursos ambientais, com potencial de poluir ou que cause degradação ambiental. Pode ser concedido por diferentes esferas: municipal, estadual ou federal, porém deve ser solicitado em uma única esfera de ação, conforme a Resolução CONAMA nº 237/97.

A autorização e o monitoramento da obrigação de licenciamento em obras de infraestrutura portuária são compartilhados por órgãos estaduais do meio ambiente e pelo IBAMA, responsável por promover as licenças de atividades desenvolvidas em mais de um estado e daqueles cujos impactos ambientais ultrapassem os limites ter-

ritoriais. A legislação em vigor define que o processo de licenciamento ambiental consiste de três etapas: Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO).

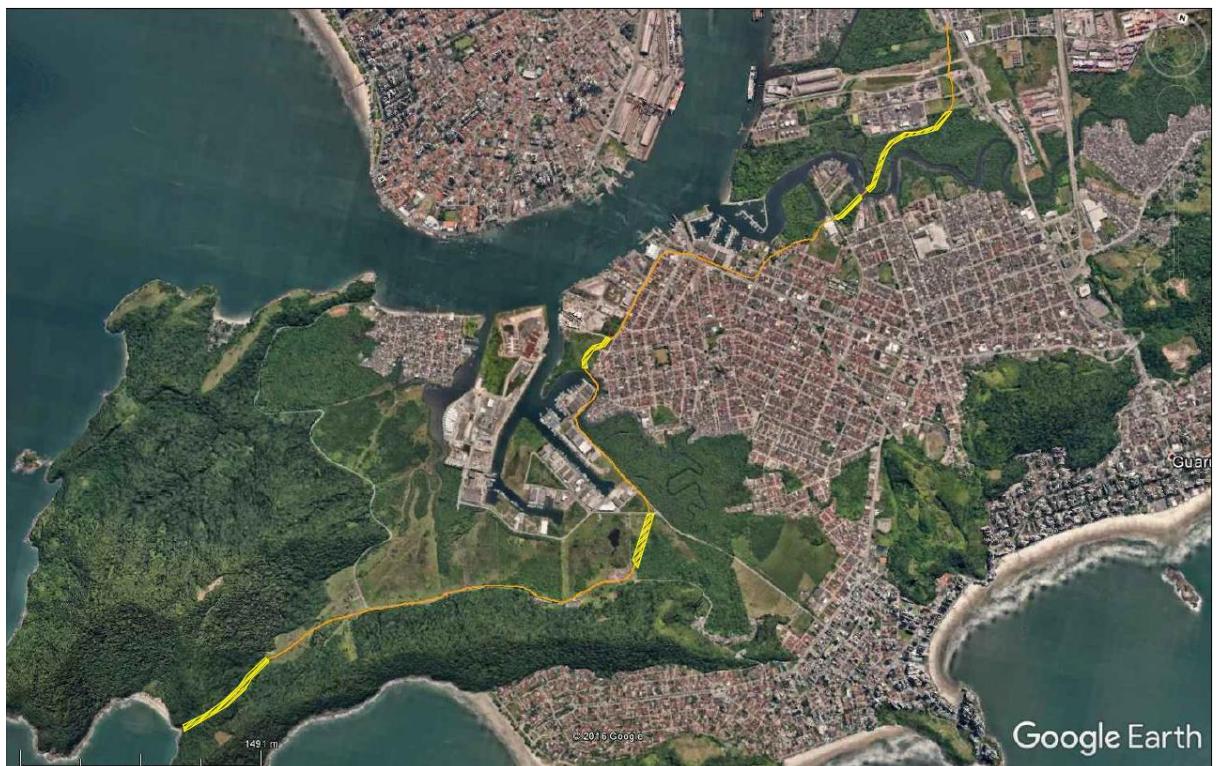
Licença Prévia (LP): Concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação, garantindo ao empreendedor a possibilidade, durante sua validade, de implantar na área solicitada, o empreendimento proposto, salvo mudanças na legislação vigente, porém não autoriza o início das obras. O prazo de validade da LP deverá ser, no mínimo, o estabelecido pelo cronograma de elaboração dos planos, programas e projetos relativos ao empreendimento ou atividade, não podendo ser superior a 5 anos;

Licença de Instalação (LI): Autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante. Esta licença autoriza o início da implantação do empreendimento. O prazo de validade da LI deverá ser, no mínimo, o do cronograma de instalação do empreendimento ou atividade, não podendo ser superior a 6 anos;

Licença de Operação (LO): Autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação. O prazo de validade da LO deverá considerar os planos de controle ambiental e será de, no mínimo, 4 anos e, no máximo, 10 anos.

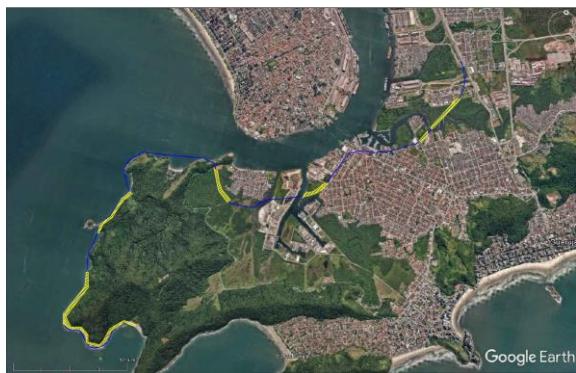
Para este critério foi atribuído um peso 2 em relação aos outros critérios da matriz de decisão utilizados para avaliar a melhor alternativa de traçado. Assim, estimou-se, para cada um dos traçados, a área a ser desmatada para a instalação dos trilhos e da infraestrutura para a realização dessas obras. A seguir estão os traçados e suas respectivas áreas a serem desmatadas.

Figura 38 - Área a ser desmatada na implantação do traçado 1 (área correspondente aos polígonos desenhados em amarelo)



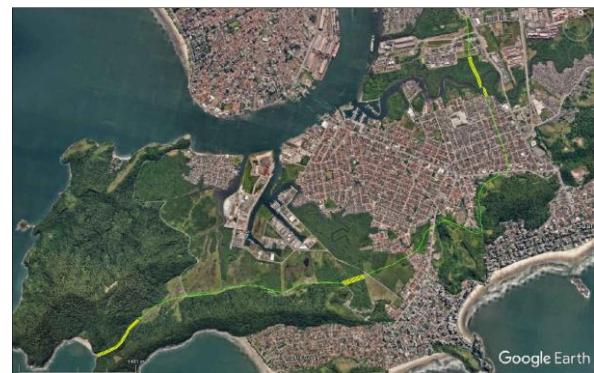
Fonte: Adaptado de (GOOGLE MAPS, 2017).

Figura 39 - Área a ser desmatada na implantação do traçado 2



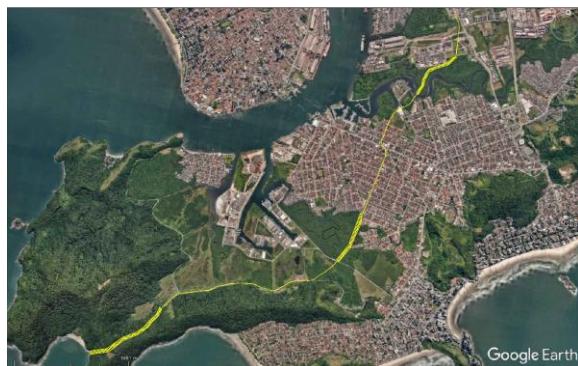
Fonte: Adaptado de (GOOGLE MAPS, 2017).

Figura 40 - Área a ser desmatada na implantação do traçado 3



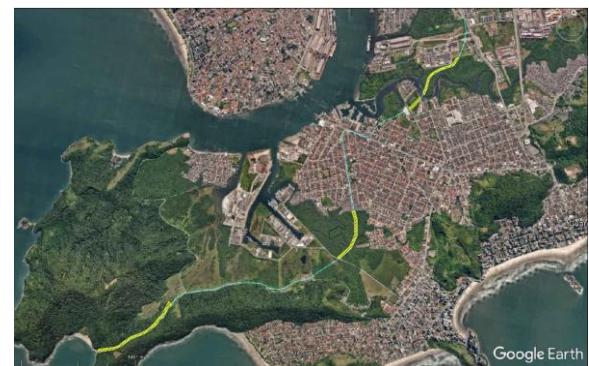
Fonte: Adaptado de (GOOGLE MAPS, 2017).

Figura 41 - Área a ser desmatada na implantação do traçado 4



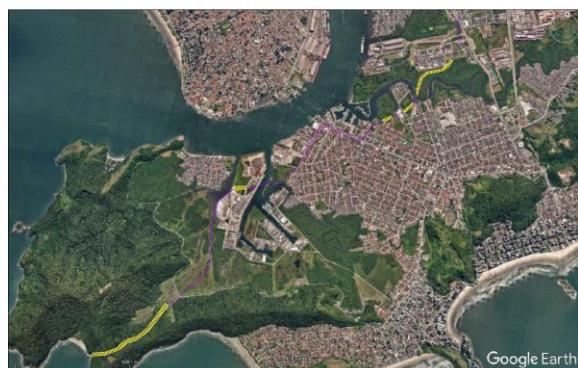
Fonte: Adaptado de (GOOGLE MAPS, 2017).

Figura 42 - Área a ser desmatada na implantação do traçado 5



Fonte: Adaptado de (GOOGLE MAPS, 2017).

Figura 43 - Área a ser desmatada na implantação do traçado 6



Fonte: Adaptado de (GOOGLE MAPS, 2017).

Figura 44 - Área a ser desmatada na implantação do traçado 7



Fonte: Adaptado de (GOOGLE MAPS, 2017).

Tabela 15 - Área a ser desmatada em cada opção de traçado

Alternativas	Estimativa da área a ser desmatada (m ²)
Traçado 1	24643
Traçado 2	49286
Traçado 3	17192
Traçado 4	33367
Traçado 5	31875
Traçado 6	25557
Traçado 7	26104

Fonte: Autor.

Conforme a tabela anterior, verifica-se que o traçado 2 apresenta a maior área total desmatada, enquanto que o traçado 3 apresenta a menor. A partir dessa informação, atribuiu-se valores associados a cada traçado no critério de impactos ambientais da matriz de decisão.

vi. Interferência com rios

Neste critério foi levado em consideração apenas a interferência que o monotrilho poderia ter com rios e mangues. Assim, para a atribuição da nota foram analisados os trechos de cruzamento do traçado com corpos d'água (na concepção do traçado buscou-se sempre o cruzamento com rios a 90°) e, de acordo com o número de cruzamentos e da magnitude destes cruzamentos, foi estabelecida a nota de cada traçado.

Os traçados um e cinco obtiveram nota 3 devido a interferência com o mangue próximo à linha ferroviária e, no caso do traçado um, uma pequena interferência próximo à metade do comprimento. Os traçados três e quatro receberam nota 4 pois são os traçados que menos tem interferências com rios e mangues. Os traçados dois e seis, por sua vez, obtiveram nota 2 devido às grandes interferências com mangues, principalmente. O traçado seis cruza mangues por duas vezes enquanto o traçado dois possui grande extensão na água do mar pois circunda a costa.

Felizmente, apesar de se tratar de uma região com muitos mangues, não há grandes manguezais próximos à região de estudo, o que facilita tanto a implantação da solução quanto a sua execução em obra, sem contar que a interferência com os mangues pode trazer grandes problemas ambientais e ônus à obra. Devido a isso, foi atribuído peso dois a este critério.

vii. Interferência com serviços consolidados

O último critério, “Interferência com serviços consolidados”, tem relação direta com alguns dos critérios expostos anteriormente. Este reúne todas as possíveis interferências do sistema de monotrilho com qualquer obra, edificação ou serviço já implantados anteriormente. Neste caso, são contadas interferências com o sistema de travessia por balsa Santos-Guarujá, marinas e docas que existam nas proximidades, casas e edificações, estaleiros, ou seja, todas as interferências não-naturais possíveis. Dessa forma, os traçados um, dois e seis obtiveram nota 2 por interferirem em

inúmeros serviços oferecidos na região, em especial a travessia por balsa e a marina late Clube de Santos, como apresentado na imagem abaixo.

Figura 45 - late Clube de Santos



Fonte: Autor.

Os traçados três e cinco obtiveram nota 3 por interferirem em alguns serviços, embora menos do que os citados anteriormente. O traçado com melhor nota foi o quatro que interfere pouco com os serviços oferecidos na região.

Para este critério foi atribuído peso dois devido ao ônus que a implantação do sistema de monotrilhos pode trazer aos sistemas já consolidados na região e que dificilmente podem ser realocados para outras regiões (como por exemplo a travessia por balsa e o late Clube de Santos).

Baseados nos critérios acima demonstrados e explicados brevemente, montou-se então a matriz de decisão para os sete traçados pré-determinados, atribuindo-se os respectivos pesos para cada traçado. O cálculo da nota é explicado após a matriz.

Abaixo, são explicados e justificados de forma mais clara o valor de cada nota (de 1 a 5) e o que cada nota significa em cada um dos critérios para o melhor entendimento do procedimento de escolha:

Tabela 16 - Descrição dos pesos adotados na matriz de decisão

Notas							
Relevo	Comprimento do traçado	Desapropriações	Passagem em lugares de difícil acesso	Impactos ambientais	Interferência com rios	Interferência com serviços consolidados	
1 (Muito acidentado)	1 (Extenso)	1 (Muita)	1 (Difícil acesso)	1 (Muito Impacto)	1 (Grande)	1 (Grande)	
2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4
5 (Plano)	5 (Curto)	5 (Quase inexistente)	5 (Fácil acesso)	5 (Baixo impacto)	5 (Baixa)	5 (Baixa)	5 (Baixa)

Fonte: Autor.

A seguir encontra-se a matriz de decisão que avalia cada traçado.

Tabela 17 - Matriz de decisão

Traçado	Relevo	Comprimento do traçado	Desapropriações	Passagem em lugares de difícil acesso	Impactos ambientais	Interferência com rios	Interferência com serviços consolidados	TOTAL
1	3	4	3	3	4	3	2	54
2	4	2	3	3	1	2	2	43
3	1	4	1	1	5	4	3	45
4	2	5	4	3	3	4	5	59
5	2	5	3	2	3	3	3	49
6	2	5	3	3	4	2	2	50
7	3	5	4	3	4	4	2	60
Pesos	4	2	2	2	3	2	2	17

Fonte: Autor.

Após elencados e explicados todos os critérios e notas, foram multiplicadas as notas pelos pesos e após isso foram somadas. A soma dos pesos resultou 17, as somas das notas foram divididas por esse valor para expressar de forma mais clara a diferença entre estas. Assim, foram organizados os traçados pela nota obtida, chegando-se à seguinte matriz:

Tabela 18 - Resumo das notas de cada traçado

Traçado	Soma das notas	Nota Normalizada (0-5)
7	60	3,53
4	59	3,47
1	54	3,18
6	50	2,94
5	49	2,88
3	45	2,65
2	43	2,53
Pesos	17	1

Fonte: Autor.

No próximo capítulo começaremos a tratar do dimensionamento do quebra-mar e da estrutura do monotrilho para proceder com nossa análise de viabilidade da implantação do projeto.

5. DIMENSIONAMENTO DO QUEBRA-MAR

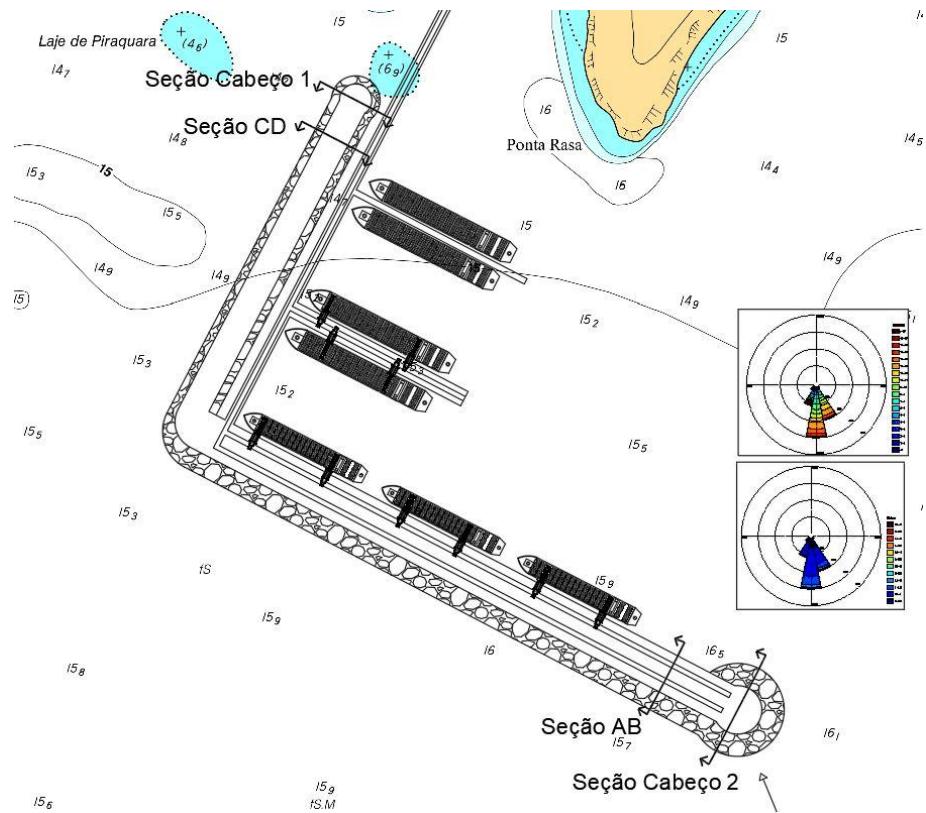
Neste capítulo será abordado o processo de dimensionamento feito para cálculo do peso do bloco da armadura do quebra-mar, avaliação do recalque do solo sob a obra e as seções típicas do enrocamento.

5.1. DEFINIÇÃO DA SEÇÃO TÍPICA

O quebra-mar deverá ter área plana em sua crista que permita a mobilização de contêineres – carga e descarga dos navios, transporte, embarque e desembarque do monotrilho. Portanto deverá comportar um Transtainer, equipamentos semelhantes a reach stackers e empilhadeiras; e a estrutura do monotrilho.

A análise preliminar realizada para definir a geometria da estrutura do quebra-mar considerou uma crista com largura de 20 metros e a base com 87,13 metros na seção de corte AB. Na seção CD a crista apresenta 15 metros de largura e 82,90 metros de base. As seções típicas estão indicadas na figura a seguir:

Figura 46 - Quebra mar - Planta



Fonte: Autor

O talude externo da seção AB, ou seja, exposto às ações das ondas que incidem diretamente na obra de abrigo, apresentam declividade com relação de 3:2 (H:V), enquanto o lado abrigado apresenta declividade de 4:3. Na seção CD essa relação de declividade passa a ser 4:3 tanto no lado externo quanto no lado interno (abrigado). Essa diferença entre as declividades decorre da direção de incidência das ondas em relação à seção em análise, necessitando de um talude menos inclinado para garantir a estabilidade do maciço.

5.2. DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA

5.2.1. Peso dos Blocos

Para o cálculo do peso dos blocos de enrocamento necessários para a composição da armadura, da camada intermediária e do núcleo do quebra-mar, considerou-se uma declividade $\cot\theta$ igual a 1,5 na seção AB no cabeço da estrutura e 1,33 na seção CD tanto no corpo quanto no cabeço da estrutura.

A graduação de peso do enrocamento da armadura se dá entre 75% e 125% de P. O peso do enrocamento da camada intermediária apresenta 1/10 do valor de P e com graduação entre 70% e 130% desse valor. Já o núcleo equivale a 1/200 do peso P, com graduação entre 30% e 170%.

O cálculo do peso dos blocos necessários para a armadura foi feito com base na fórmula de Hudson e então foi determinado o volume necessário de enrocamento. Para ondas acima de quatro metros, o peso resultante é superior a 12tf, ultrapassando o valor do peso do maior bloco da pedreira de Mongaguá. Assim, para esse caso, considerou-se o uso de blocos de concreto ACCROPODE II para a composição da armadura do quebra-mar.

Os valores determinados abaixo foram obtidos por meio de uma ferramenta de cálculo online disponível no website da CLI (CONCRETE LAYER INNOVATIONS, 2017). As estimativas preliminares obtidas por meio dessa calculadora incluem variações no valor do coeficiente de estabilidade hidráulica (Kd) da fórmula de Hudson, assim como a declividade do solo marinho.

Na tabela seguinte são apresentados os valores dos parâmetros de entrada para o cálculo dos pesos e volumes dos blocos de concreto:

Os valores do coeficiente de estabilidade de Hudson para blocos artificiais de concreto estão apresentados na tabela a seguir.

Tabela 19 - Parâmetros dos blocos pré-moldados de concreto

Armour unit	Country	Year	Hudson stability coefficient K_D				Slope	
			trunk		head			
			breaking waves	non-breaking	breaking waves	non-breaking		
Cube	–	–	6.5	7.5	n.a.*)	5	1:1.5 – 1:3	
Tetrapod	France	1950	7	8	4.5	5.5	1:2	
Tribar	USA	1958	9	10	n.a.	8.5	1:2	
Stablit	UK	1961	10	12	n.a.	n.a.	–	
Akmon	NL	1962	8	9	n.a.	n.a.	–	
Dolos	RSA	1963	16	32	8	16	1:2	
Antifer Cube	France	1973	7	8	n.a.	n.a.	–	
Haro	Belgium	1984	8	9	n.a.	n.a.	–	

Fonte: (MUTTRAY; REEDIJK, 2008).

Com base nos dados de entrada, calculou-se a quantidade, em massa, de blocos de concreto e o volume necessário que é definido a partir das condições de contorno definidas para o projeto, ou seja, com arrebentação de onda.

Figura 47 - Calculadora de bloco de armadura

Computing parameter

Structure type: Trunk section 

Unit type: ACCROPODE™

Brochure Design table

Armour slope: 3/2

Concrete density: 2400 kg/m³

Water density: 1025 kg/m³

Significant wave height (Hs): 7 m

Breaking waves: yes

Seabed slope: 2 %

Bottom level of the armour*: -10.8 m

Upper level of the armour*: 9.45 m

Help topic 

*These values are not compulsory but allow to check the number of rows on the slope.

Fonte: <http://www.concretelayer.com/computing-tool>.

A partir dos valores definidos para os parâmetros de entrada, definiu-se blocos do tipo ACCROPODE alocados de modo que a declividade com relação ao solo fosse de aproximadamente 33,7 ° (cotg 1,5), com os níveis inferior e superior da armadura nas alturas (10,8) m e 9,45 m, respectivamente, com relação ao nível do mar.

Figura 48 - Resultados da formula de Hudson e resultados obtidos da calculadora CLI

Calculadora CLI	
Seção AB - Talude externo	
Parâmetros	
Volume teórico (m ³)	7,85
Volume Padrão (m ³)	9
Massa (tf)	21,6
Altura (m)	2,98
Espessura da armadura (m)	2,68
Rochas das subcamadas (tf)	1,5-3,0
Consumo de concreto (m ³ /m ²)	1,28

Fórmula de Hudson (Aplicação direta)	
Seção AB - Talude externo	
Parâmetros	
γ _a (tf/m ³)	1,025
γ _s (tf/m ³)	2,4
cotg α	1,5
H _s (m)	7
K _d	16
Arrebentação	Sim
Peso Armadura (tf)	14,2

Fonte: Autor

Analizando-se os dois resultados obtidos para o peso dos blocos, é possível verificar uma divergência entre os valores calculados, sendo o peso calculado pela formula de Hudson resultando em 14,2 tf. A massa calculada por meio da calculadora considera a declividade de fundo e outros fatores que a aplicação direta da fórmula de Hudson despreza. Assim, para efeitos de dimensionamento, atribuiu-se para o peso do bloco o maior valor entre as duas formas de cálculo, ou seja, 21,6 tf.

5.2.2. Espessura

O pré-dimensionamento é concluído com a determinação do valor da espessura da armadura, que é estabelecido a partir da seguinte fórmula:

$$e = n \times \sqrt[3]{\frac{P}{\gamma_s}}$$

O valor de P e γ_s já foram definidos com base nos cálculos anteriores e o número n de camadas de bloco equivale a 1 (valor utilizado para blocos de concreto monocamada). A espessura obtida por meio da calculadora CLI diverge do valor calculado pela fórmula, assim, a favor da segurança, adotou-se o maior valor.

Figura 49 - Quadro resumo da armadura adotada

Armadura	
Seção AB - Talude externo	
Espessura - Calculadora CLI (m)	2,68
Espessura - Teórico (m)	2,05
Espessura adotada (m)	2,05
Seção CD	
Espessura - Calculadora CLI (m)	2,68
Espessura - Teórico (m)	2,05
Espessura adotada (m)	2,05
CABEÇO 1 e 2	
Espessura - Calculadora CLI (m)	2,68
Espessura - Teórico (m)	2,05
Espessura adotada (m)	2,05

Fonte: Autor

Para a determinação da espessura dos níveis intermediários entre o núcleo e a armadura externa, considerou-se uma composição de enrocamento. A faixa de pesos para essa camada segue as relações representadas nas tabelas seguintes:

Figura 50 - Quadro resumo da subcapa e núcleo

Subcapa de enrocamento				
P bloco (tf)	(P/10)*1,3 (tf)	(P/15)*0,7 (tf)	Espessura (m)	
Seção AB	21,6	2,81	1,01	2,11
Seção CD	21,6	2,81	1,01	2,11
CABEÇO 1	21,6	2,81	1,01	2,11
CABEÇO 2	21,6	2,81	1,01	2,11

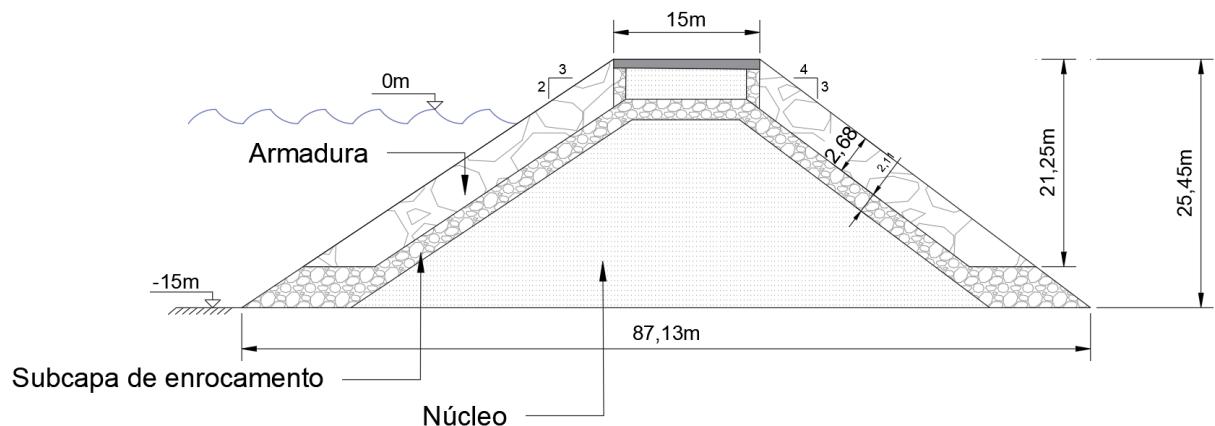
Núcleo		
	(P/200)*1,7 (kgf)	(P/6000)*0,3 (kgf)
Seção AB	183,6	1,08
Seção CD	183,6	1,08
CABEÇO 1	183,6	1,08
CABEÇO 2	183,6	1,08

Fonte: Autor

O dimensionamento e análise da seção transversal do modelo de quebra-mar proposto considerou como referência a seção localizada na cota 15 metros, por representar a região onde ocorrerá um maior recalque.

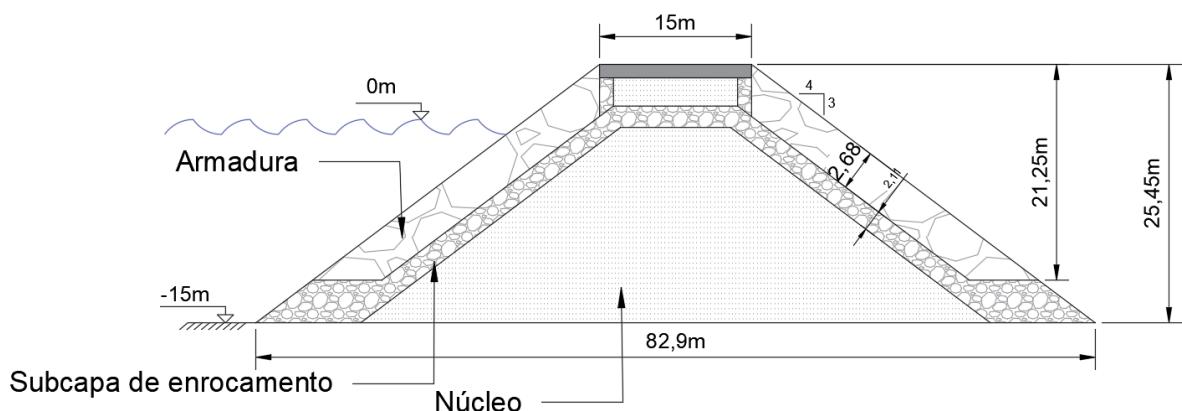
Com base nas informações estabelecidas por meio dos cálculos anteriores, tem-se a representação do pré-dimensionamento das seções transversais do quebra-mar. A partir dos parâmetros geométricos de cada seção e das características físicas da composição da estrutura, é possível determinar o recalque provocado pelo peso próprio e cargas acidentais advindas de equipamentos e das áreas de estoque temporária na superfície do quebra-mar.

Figura 51 - Corte – Seção AB



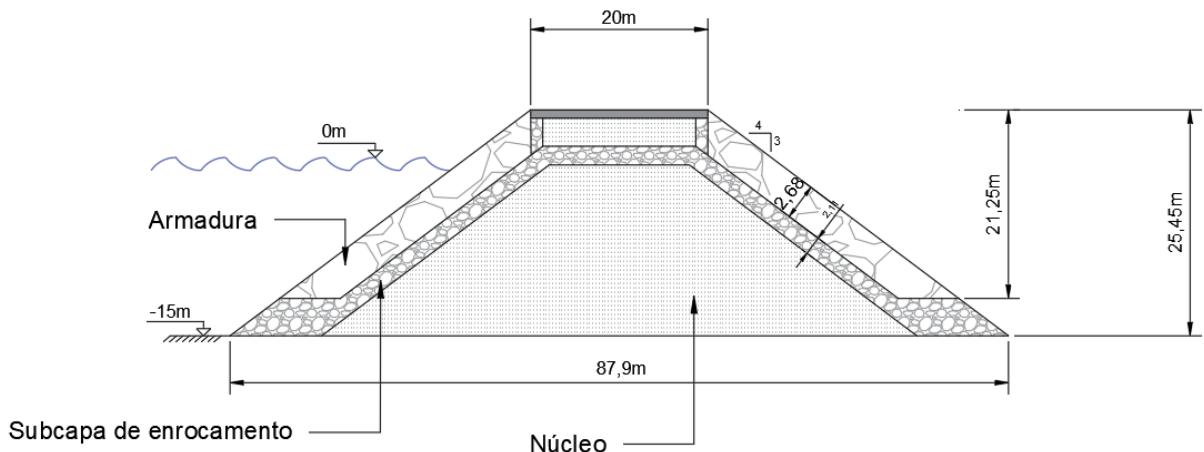
Fonte: Autor.

Figura 52 - Corte - Seção CD



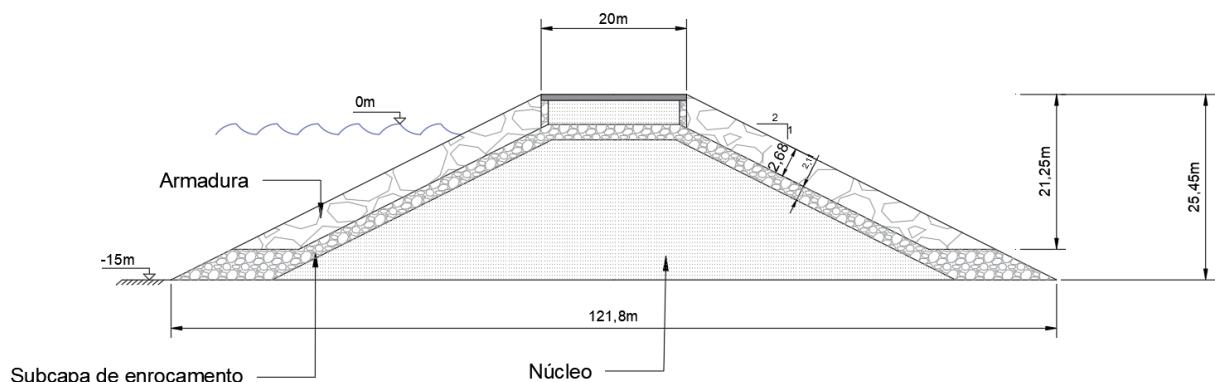
Fonte: Autor.

Figura 53 - Corte - Seção do cabeço 1



Fonte: Autor.

Figura 54 - Corte - Seção do cabeço 2



Fonte: Autor.

5.3. FUNDAÇÃO DO QUEBRA-MAR

Nessa seção será exposta a verificação do solo sobre o qual o quebra-mar será apoiado, tanto em relação ao ELU (ruptura do solo), quanto ao ELS (recalque imediato e recalque lento - adensamento).

Para essa análise usaremos algumas sondagens que obtivemos feitas no estuário de Santos, na região da Libra e da Cutrale. Consideramos uma camada de areia até a profundidade -19,0 m seguida de uma camada de argila orgânica de espessura de aproximadamente 40,0 m.

Os parâmetros adotados estão apresentados a seguir.

Tabela 20 - Parâmetros de resistência e deformabilidade utilizados na análise

Tipo de solo	γ (kN/m ³)	ϕ' (graus)	c' (Kpa)	Poisson ν (-)	Módulo de elasticidade (Mpa)	Permeabilidade k (m/dia)
Aterro compactado (Silte areno-argiloso)	19 - 21	32 - 42	0 - 20	0,3	25	10^{-2}
Solo residual maduro	17 - 21	30 - 38	5 - 20	0,3	10	10^{-2}
Colúvio	15 - 20	27 - 35	0 - 15	0,35	5	10^{-3}
Areia densa	18 - 21	35 - 40	0	0,3	25	10^{-2}
Areia fofa	17 - 19	30 - 35	0	0,3	20	10^{-2}
Pedregulho uniforme	18 - 21	40 - 47	0	0,3	50	10^{-2}
Pedregulho arenoso	19 - 21	35 - 42	0	0,3	35	10^{-2}
Argila mole não drenada	18-21	0	10	0,35	5	10^{-5}

Fonte: Autor.

Para a Argila Mole de Santos, considerou-se sua resistência não drenada (s_u).

Empregou-se a seguinte equação proposta por Golçalves e Yanez (2010) que permite encontrar a resistência não drenada de Argilas Moles de Santos conforme a profundidade:

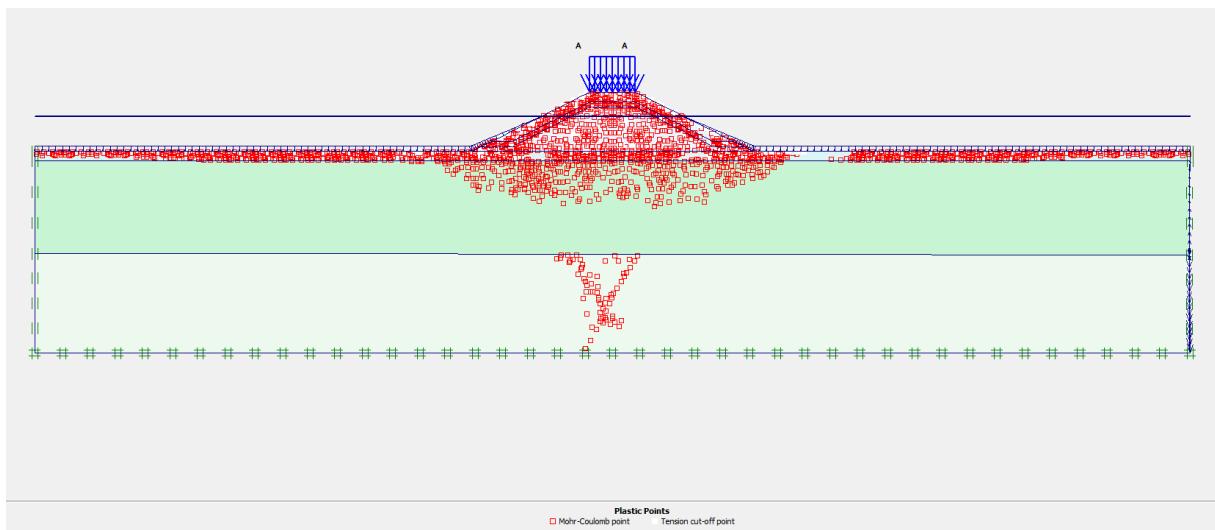
$$s_u = 43,7 + 5,0 z \text{ (kPa)}$$

5.3.1. Análise de estabilidade (ELU)

Foram realizadas análises de estabilidade do enrocamento quanto a ruptura local e quanto à ruptura global passando pela fundação utilizando os softwares Plaxis 2D 8.2 e Slide 5.0. Os parâmetros de resistência adotados estão apresentados na **Error! Reference source not found.**. Não foram considerados efeitos de liquefação, dadas as condições em que o quebra-mar se encontra.

As análises estão apresentadas nas figuras a seguir:

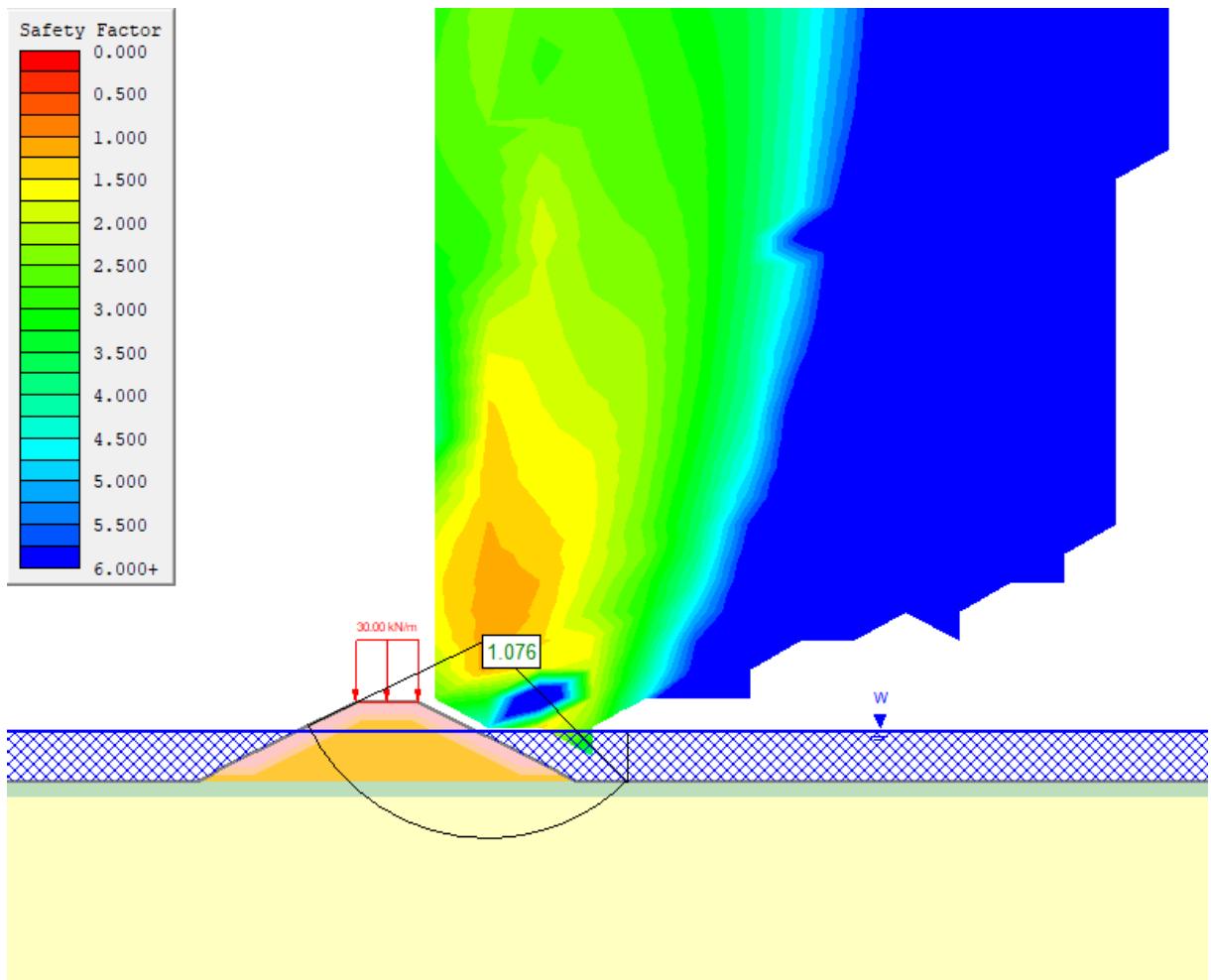
Figura 55 Plastificação correspondendo ao fator de segurança de 1,09 – Plaxis 2D



Fonte: Autor.

No programa Slide 5.0, utilizando o método de Spencer, foi obtido um fator de segurança de 1,076.

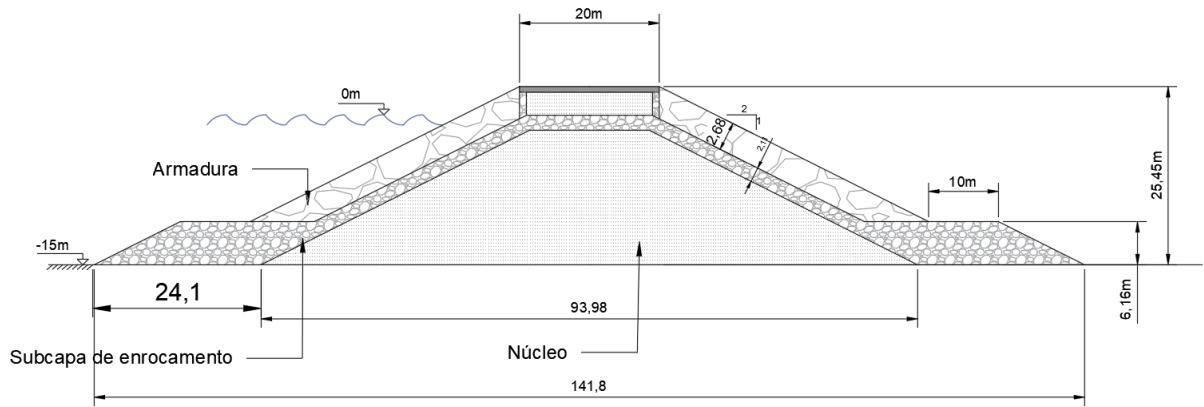
Figura 56 - Analise de estabilidade - FS = 1,076 – Slide 5.0



Fonte: Autor.

Conclui-se, portanto, que será necessária a construção de uma berma de estabilidade no perímetro do quebra-mar. Para fins da análise de custo foi considerada uma berma de estabilidade de 10 m de largura.

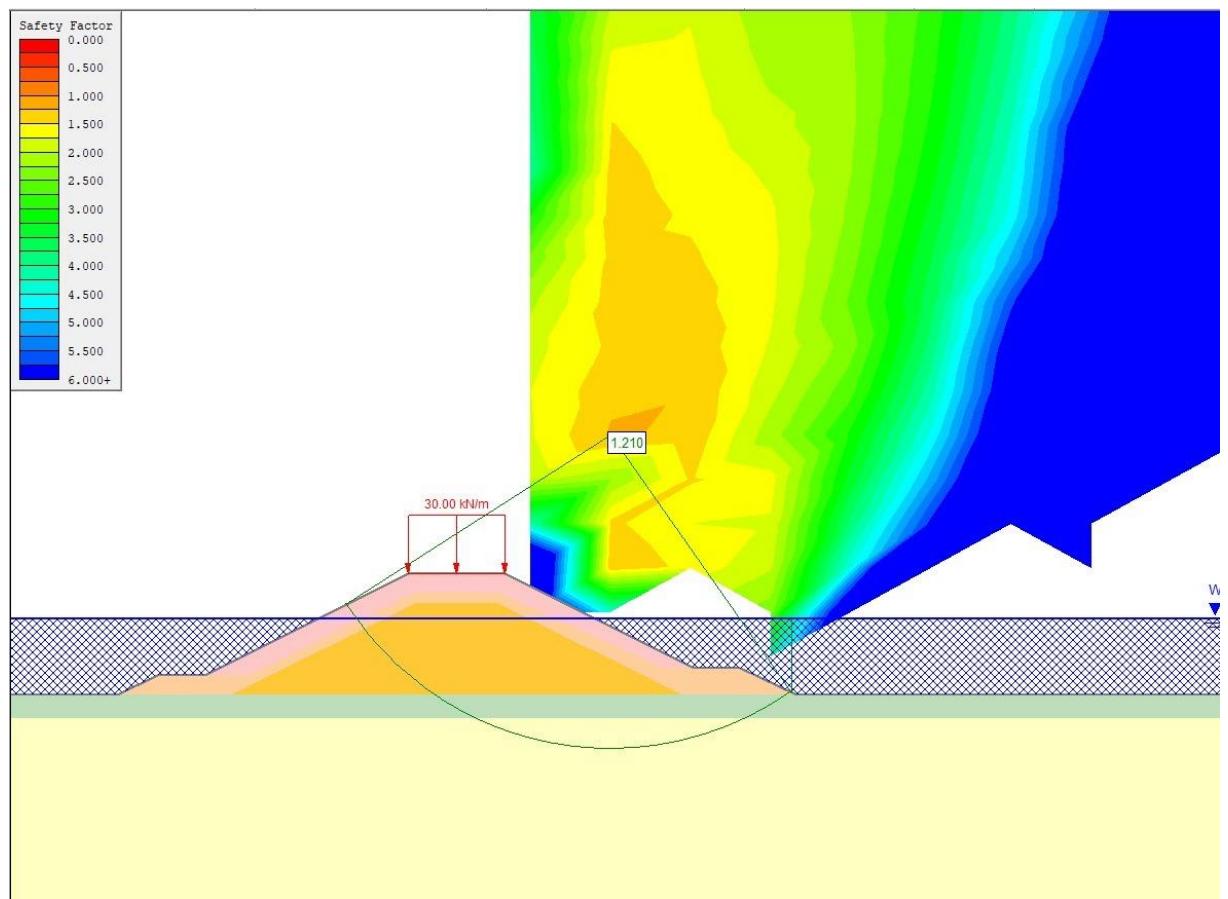
Figura 57 - Seção da transversal do cabeço 2 com berma



Fonte: Autor .

Realizou-se então nova análise, considerando o emprego de bermas.

Figura 58 - Analise de estabilidade - FS = 1,2 – Slide 5.0



Fonte: Autor.

5.3.2. Análise dos recalques (ELS)

Os parâmetros geotécnicos que podem ser inferidos a partir dessa sondagem permitem determinar as condições de contorno para a realização de uma modelagem, utilizando o software computacional Geo5 e o Plaxis 2D, para obter os volumes de recalque.

O cálculo do recalque por adensamento primário pode ser determinado a partir da seguinte equação:

$$\Delta h = h_{arg} * \left[\frac{C_s}{1 + e_0} * \log \left(\frac{\sigma'_{vm}}{\sigma'_{v0}} \right) + \frac{C_c}{1 + e_0} * \log \left(\frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v}{\sigma'_{vm}} \right) \right]$$

Onde:

C_s – índice de recompressão

C_c – índice de compressão

e_0 – índice de vazios para a tensão vertical efetiva inicial in situ

$\Delta\sigma_v$ – acréscimo de tensão no meio da subcamada

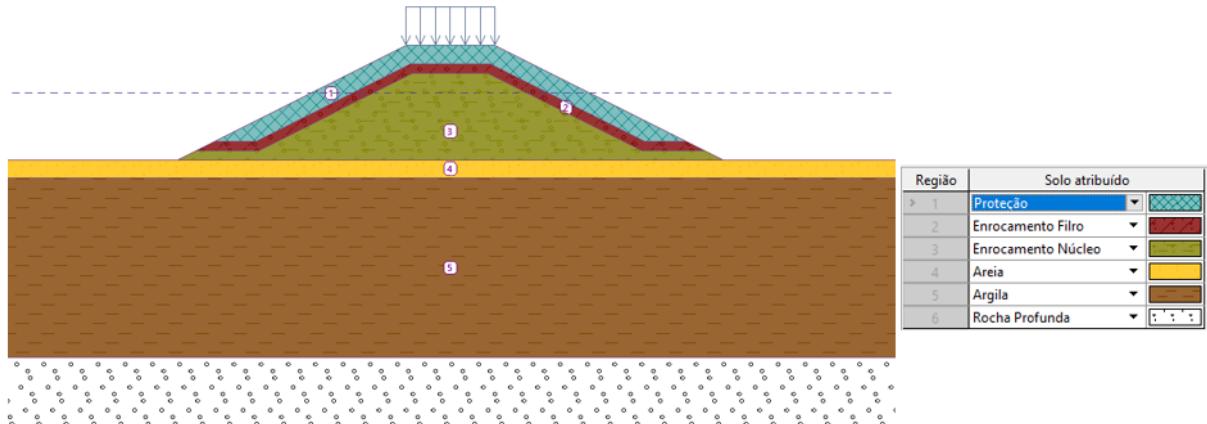
σ'_{v0} – tensão vertical efetiva in situ no meio da subcamada

σ'_{vm} – tensão de sobreadensamento no meio da subcamada

Essa equação, no entanto, não leva em consideração o sequenciamento da obra, em termos de separação da construção por fases. O adensamento do solo pode variar ao longo das cargas que passarão a atuar na superfície do solo, que está diretamente associada às fases da obra.

A partir das informações geotécnicas apresentadas na **Error! Reference source not found.** e definindo os limites geométricos da estrutura, assim como as interfaces entre as camadas de diferentes materiais, foram calculados as tensões e os deslocamentos totais e relativos.

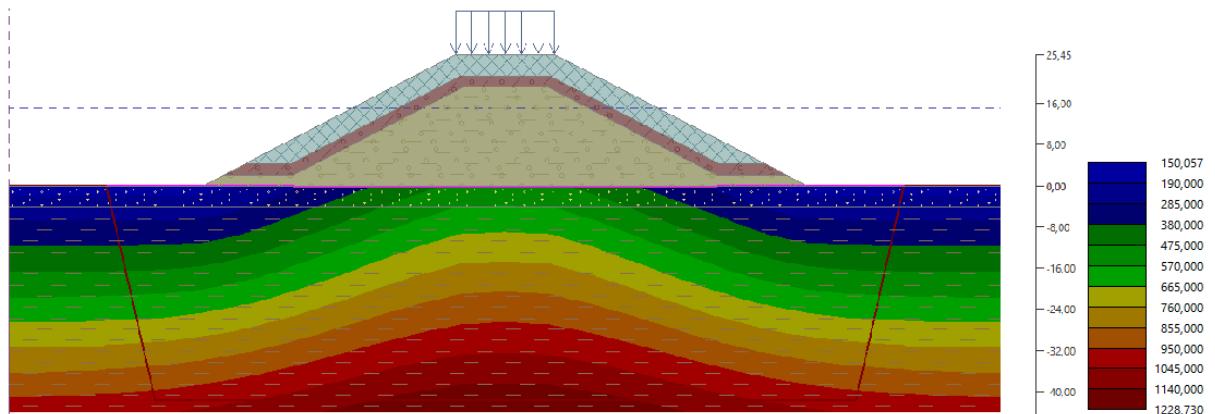
Figura 59 - Geometria, nível d'água e sobrecarga - modelo no programa – Geo5



Fonte: Autor.

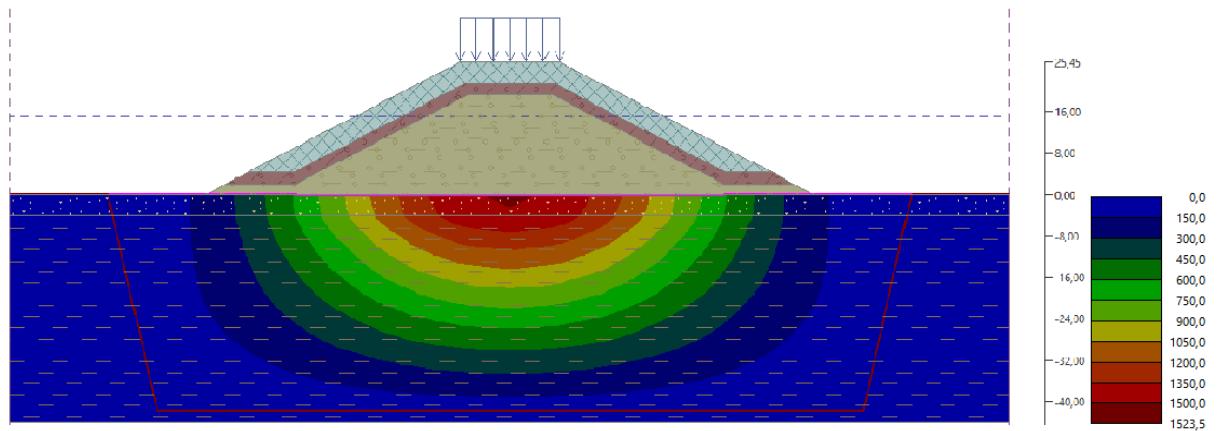
A modelagem é iniciada partindo da definição das camadas que irão sofrer recalque, nesse caso as camadas 4 e 5. O programa exige, como dados de entrada, as etapas construtivas, em que é necessário definir o tempo de construção da obra e as sobrecargas que irão atuar em cada processo construtivo. Para o presente projeto, considerou-se um horizonte de 3 anos para a implementação da estrutura com uma sobrecarga de 30 kN/m^2 que passaria a atuar no término da construção.

Figura 60 - Campo de tensões na fundação – Geo5



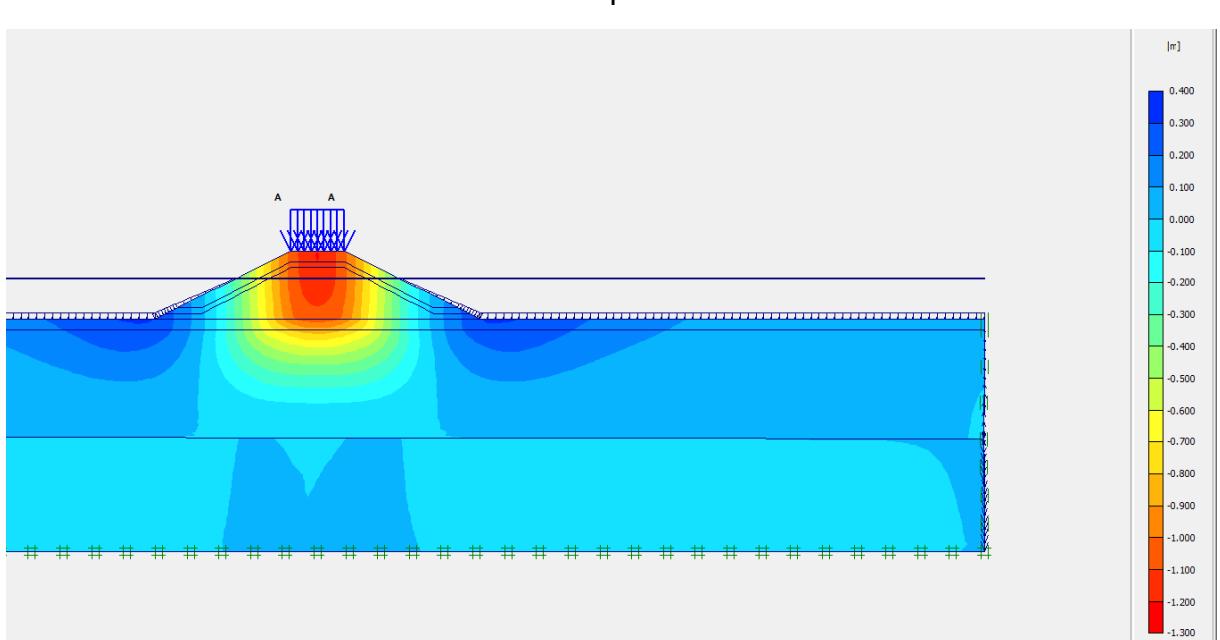
Fonte: Autor.

Figura 61 - Campo de deslocamentos na fundação – Geo5



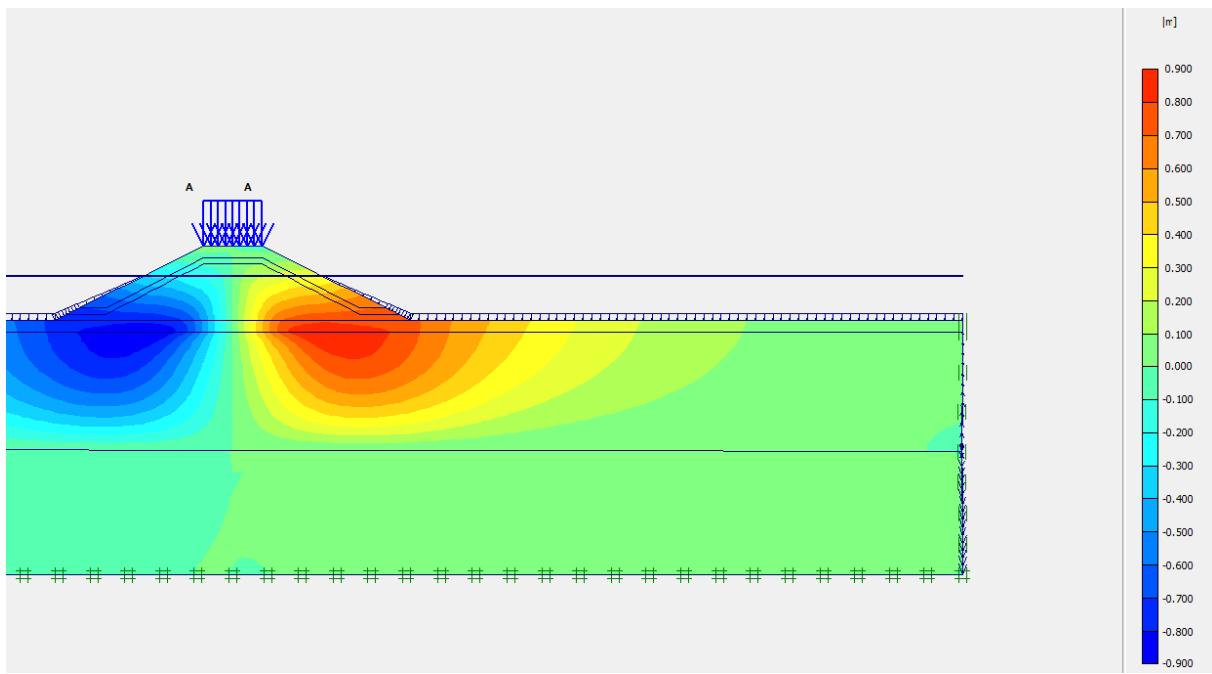
Fonte: Autor.

Figura 62 – Deslocamento vertical: -1,21 m – Plaxis 2D



Fonte: Autor

Figura 63 Deformação Horizontal: 0,8m – Plaxis 2D



Fonte: Autor.

Com esses valores obtidos foi calculada a quantidade adicional de material para compensar o volume recalculado. Esses valores serão apresentados no próximo capítulo.

5.4. VOLUMES

Considerou-se que não há grandes variações na profundidade ao longo de toda a extensão da estrutura. Há apenas uma certa variação nas dimensões da base e da crista, assim como da inclinação do talude de acordo com a necessidade de garantir maior estabilidade nas regiões onde ocorre maior incidência de ondas que atingem diretamente a estrutura.

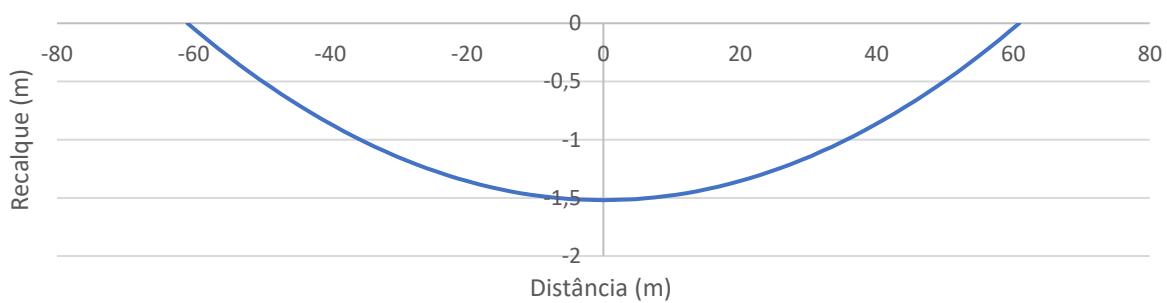
O volume de recalque pode ser calculado com base numa aproximação da área definida pela modelagem computacional dos deslocamentos das coordenadas da estrutura do quebra-mar multiplicado pela extensão. Essa estimativa permite definir com um certo grau de precisão o volume necessário de enrocamento adicional para compensação desse recalque causado pelo peso próprio da do quebra-mar e da sobrecarga que passará a atuar após o início da operação da movimentação de cargas pelo monotrilho.

Com base na análise feita pelo software, é possível verificar que o deslocamento máximo sofrido pela estrutura é de 1,52 metro. A ordem de grandeza do valor

obtido condiz com o porte da estrutura e com a grande espessura da camada de argila, que sofre adensamento quando submetida a um carregamento permanente. Para efeito de cálculo do volume de recalque, considerou-se que o deslocamento vertical segue uma relação parabólica com a abscissa, assim, definindo os três pontos da parábola $(-60,9, 0)$, $(0, -1,5225)$ e $(60,9, 0)$, obteve-se a equação:

$$y = \frac{152}{370881} x^2 - \frac{38}{25}$$

Recalque na seção transversal



Fonte: Autor.

A definição da área foi feita através da integral da equação. O cálculo resultou em $123,40 \text{ m}^2$ recalculado. Assim, partindo desse resultado, obteve-se, para uma extensão de aproximadamente 1700 metros de quebra-mar, um valor de $210.150,2 \text{ m}^3$ de volume necessário para a compensação do recalque.

6. DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DO MONOTRILHO E TRANSPORTADORES

Neste capítulo será abordado o processo de dimensionamento da estrutura necessária para suportar o monotrilho, transportador e *piperack* por onde serão levadas e trazidas as cargas advindas dos navios para a área retroportuária localizada na costa e vice-versa.

6.1. DEFINIÇÃO DA SEÇÃO TÍPICA DOS PILARES, VIGAS E BLOCOS DE FUNDAÇÃO

Para dar início ao dimensionamento da estrutura, fez-se um estudo do carregamento advindo do transporte de contêineres sobre as vigas do monotrilho. Considerando-se o pior caso em que o contêiner é de 2 TEUs, totalmente carregado segundo norma ABNT 5978/80:

Tabela 21 - Tipos, capacidades e medidas de contêineres

Tipo de contêiner	Comprimento*			Largura*		Altura*		Peso bruto máximo (kg) ¹	Volume útil médio (m ³) ²	Carga útil média (kg) ³
	Conven-cional m	Nominal mm	Tole-rância mm	Nominal mm	Tole-rância mm	Nominal mm	Tole-rância mm			
1 AA	-	-	0	-	0	2591	0	-	67	27000
1 A (40 pés)	12	12192	-10	2438	-5	2438	-5	30480	61	27000
1 AX comprimento	-	-	-	-	-	<2438	-	-	-	-
1 BB	-	-	0	-	0	2591	0	-	50	23000
1 B (30 pés)	9	0.125	-10	2438	-5	2438	-5	25400	45	23000
1 BX comprimento	-	-	-	-	-	<2438	-	-	-	-
1 CC	-	-	0	-	0	2591	0	-	33	18000
1 C (20 pés)	6	6058	-6	2438	-5	2438	-5	20320	30	18000
1 CX comprimento	-	-	-	-	-	<2438	-	-	-	-
1 D (10 pés)	-	-	-	-	-	2438	-	-	14,4	9000
1 DX comprimento	3	2991	-5	2438	-5	<2438	-5	10160	-	-

Fonte: ABNT 5978/80. Disponível em: < <http://www.guiadotrc.com.br/lei/conteiner.asp> > Acesso em: novembro, 2018.

Com carga do contêiner dividida em dois suportes (vagão bi apoiada), teremos duas cargas concentradas nas extremidades do vagão percorrendo as vigas longitudinalmente. Considerando o maior contêiner, de 40 pés (12 m) e 30,5 tf; no caso extremo para fins de dimensionamento, em que dois contêineres se encontram apoiados

sobre a mesma viga, totaliza-se uma sobrecarga de 61,0 tf. A viga adotada foi a viga típica de monotrilhos existentes, cuja carga transportada e vãos a serem vencidos são semelhantes aos previstos neste projeto.

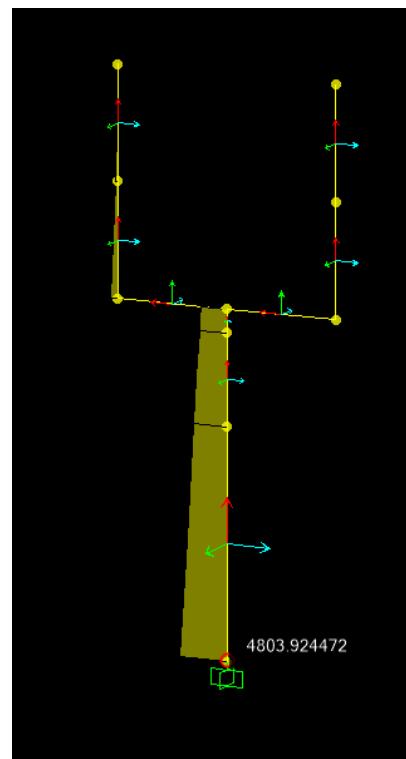
Juntamente à sobrecarga citada no parágrafo anterior, será adicionada uma carga de peso próprio de 63,0 tf descarregada por cada par de vigas, de cada linha, sobre o pilar em que se apoiam. Portanto, a carga de peso próprio que vai pra cada pilar é de 126,0 tf (dois pares de viga). Também foi prevista uma carga adicional para implementação da estrutura e operação de um equipamento transportador de granel sólido e líquido. Considerou-se 15tf descarregados sobre o pilar, juntamente às vigas do monotrilho e mais 15tf centradas no eixo do pilar.

A implementação futura de um sistema de transportadores de granel, concorda com as teorias de Portos do Futuro e Portos Flexíveis apresentadas nos primeiros capítulos desse trabalho. Essa estrutura será composta por esteiras para o transporte de granel sólido, linhas de tubulação para o transporte de granéis líquidos e paredes e cobertura em estrutura metálica, protegendo as instalações. Esse conjunto é apoiado em uma viga de concreto que por sua vez se apoia nos mesmos pilares que o monotrilho. O modelo de transportador que fora adotado para obtenção das cargas é semelhante ao usado em instalações portuárias existentes.

6.1.1. Pré-dimensionamento dos Pilares

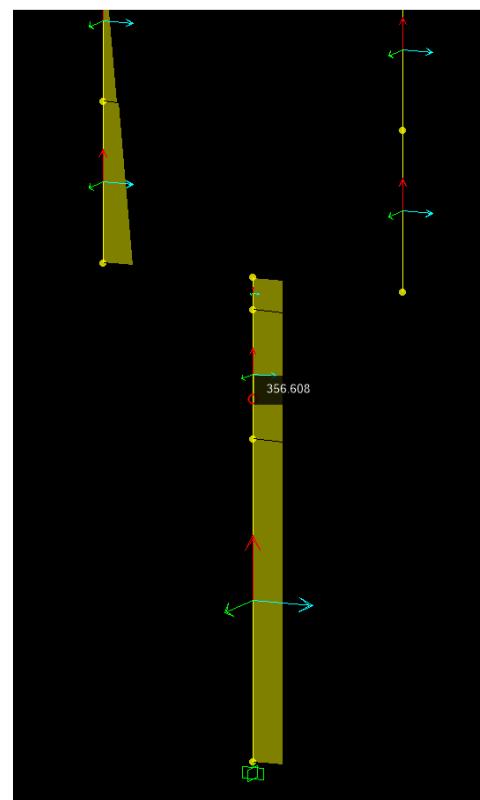
A combinação crítica de carregamentos foi a que considera apenas uma das vigas com máxima sobrecarga e esforços gerando momento adicional na base do pilar. Os esforços obtidos com essa combinação podem ser observados nas figuras a seguir:

Figura 64 - Momento fletor máximo na base do pilar (kN.m)



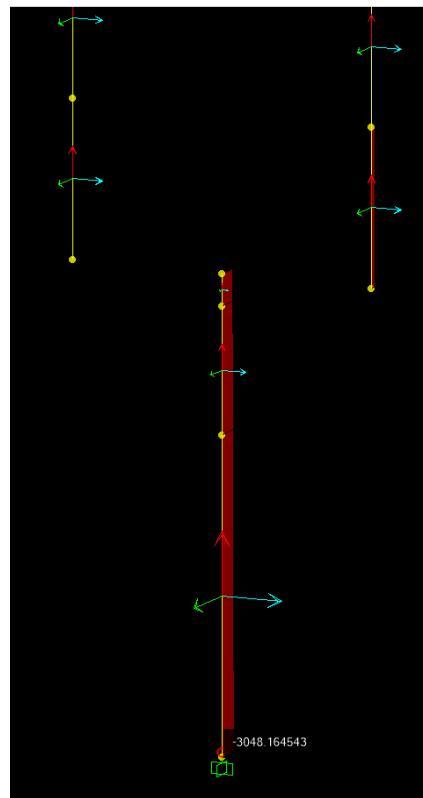
Fonte: Autor.

Figura 65 - Cortante máxima no pilar (kN)



Fonte: Autor.

Figura 66 - Diagrama de força normal da combinação crítica (kN)



Fonte: Autor.

Com esses esforços chegou-se a uma seção de 1m de diâmetro, 6m de altura, com alargamento do topo até atingir uma largura de 4m capaz de suportar as duas vias do monotrilho.

6.1.1. Pré-dimensionamento dos Blocos

Para os blocos, considerou-se o espaçamento das estacas de 3 Ø, altura do bloco sendo maior que o terço da diferença entre pilar e lado do bloco. Obteve-se um bloco com dimensões 3,6x3,6x0,9 m.

6.1.2. Pré-dimensionamento das estacas

Para cálculo geotécnico das estacas, foram utilizadas sondagens feitas no estuário do porto de Santos e então extrapoladas para a região do porto. É perceptível a necessidade de um grande comprimento de estaca para vencer a camada de argila mole de mais de 30 metros que existe na região, o que gera um grande impacto no custo de implantação.

No modelo estrutural foi considerada a estaca apoiada em molas com coeficientes elásticos calculados pelo método de AMAR BOUZID et al., (1867). Considerou-

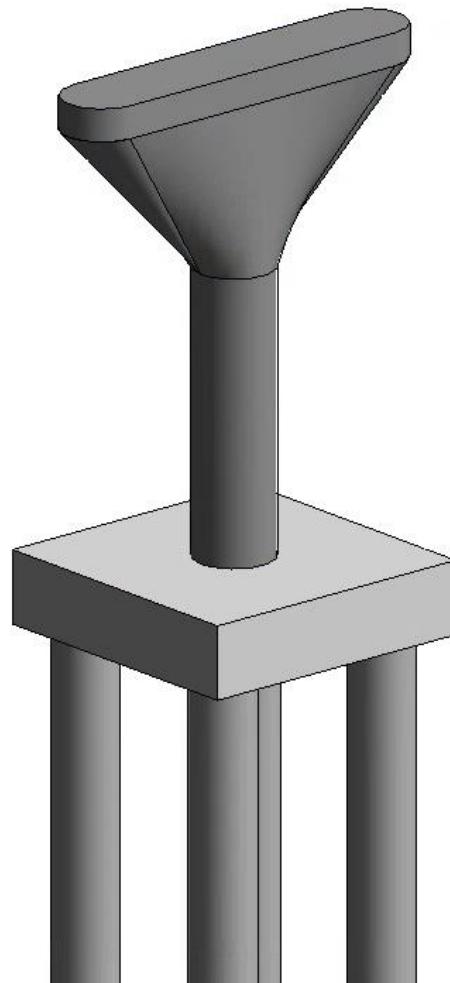
se o solo plastificando com deformações horizontais maiores que 10cm. Por fim, a estaca foi apoiada sobre um apoio móvel no plano horizontal com finalidade de obter a reação de ponta.

Quanto ao cálculo estrutural, devido à magnitude dos esforços, optou-se pela estaca encamisada de 80 cm de diâmetro.

Após estudo, concluiu-se então que a estrutura será composta por vigas protendidas, pré-fabricadas de concreto, pilares com seção variável, apoiados em blocos que serão suportados, cada um, por quatro estacas verticais de 80cm de diâmetro.

A seguir encontra-se o modelo 3D da superestrutura.

Figura 67 - Representação da estrutura típica de suporte das vigas do monotrilho



Fonte: Autor.

7. CUSTOS – ANÁLISE PRELIMINAR DA VIABILIDADE TÉCNICA

7.1. PORTO OFFSHORE

Visto que se trata de um porto executado com enrocamento, um dos principais pontos da análise preliminar é a existência de jazidas próximas ao local da obra. Para tanto, este trabalho baseou-se no Trabalho Final realizado na Escola Politécnica desenvolvido por Hiramatsu et al., (2017)".

Foram duas as pedreiras capazes de fornecer rochas de maior tonelagem, adequadas para a execução do molhe: Pedreira Mongaguá e Pedreira Intervales.

Já para o fornecimento de rochas de menor tonelagem, foram consideradas outras três pedreiras: MaxBrita, Pedreira Maria Teresa e Pedreira Engebrita.

Figura 68 - Localização das pedreiras





Fonte: Adaptado de (GOOGLE MAPS, 2017).

Segundo Hiramatsu et al., (2017) “as produtividades das jazidas são de 1300 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 Intervales, totalizando os 3.800 m³/dia que serão empregados no cálculo de tempo total de obra.”

Quanto aos preços referentes à brita necessária para fabricação dos Accropodes II:

Tabela 22 - Preço demandado por pedreiras avaliadas

Pedreira	FOB (R\$/m ³)	CIF (R\$/m ³)
Engebrita	67	84
Maxbrita	não faz	88
Maria Teresa	não faz	88,00 + pedágio
Intervales	71,5	não faz
Mongaguá	63	94

Fonte: Autor.

O preço do Accropode II finalizado foi o mesmo considerado no Trabalho anteriormente citado e igual a 4650 reais a unidade.

Nota: As categorias FOB e CIF, que significam respectivamente *Free On Board* e *Cost, Insurance and Freight*. FOB é o modelo de transporte em que o comprador assume todos os riscos e custos inerentes ao transporte da mercadoria e CIF é o modelo em que o frete e seguro da mercadoria são pagos pelo fornecedor da mercadoria em questão.

Tabela 23 - Distâncias até terminal e volumes necessários por trecho

Pedreira	Distância até terminal Embraport (km)
Engebrita	8,9
Maxbrita	6
Maria Teresa	28,6
Intervales	1,3
Mongaguá	55,4

Trecho	Volume Armadura (m ³)	Volume Subcapa (m ³)	Volume Núcleo (m ³)	Volume Total (m ³)
AB	509390.3	301533.1	1173082.3	1984005.8
CD	280613.8	170960.9	657597.6	1109172.3
Cabeço 1	4955.5	2998.4	12315.7	20269.6
Cabeço 2	7532.4	4624.3	19679.5	31836.2
Volume Total	802492.0	480116.8	1862675.1	3145283.9

Fonte: Autor.

O recalque obtido anteriormente implica em uma majoração do volume de núcleo em 10%, têm-se:

Tabela 24 - Majoração dos volumes de material por trecho

Trecho	Volume Armadura (m ³)	Volume Subcapa (m ³)	Volume Núcleo Majorado (m ³)	Volume Total (m ³)
AB	509390.3	301533.1	1290390.6	2101314.0
CD	280613.8	170960.9	723357.4	1174932.1
Cabeço 1	4955.5	2998.4	13547.2	21501.2
Cabeço 2	7532.4	4624.3	21647.4	33804.1
Volume Total	802492.0	448707.3	2048942.6	3331551.4

Fonte: Autor.

Finalmente, deve-se considerar o efeito de agulhamento. Esse efeito consiste na acomodação dos blocos, tornando o perímetro que envolve o maciço, calculado com base na densidade aparente, maior do que o realmente formado. O empilhamento do maciço conduz a acomodação das arestas pelos vazios. Nesse caso, adota-se um valor de 10%.

Tabela 25 - Volume necessário de material considerando efeito de agulhamento

Trecho	Volume Total (m ³)	Volume Total Majorado (m ³)
AB	2081587.6	2311445.4
CD	1163747.7	1292425.3
Cabeço 1	21305.0	23651.3
Cabeço 2	33501.6	37184.6
Volume Total	3300141.9	3664706.6

Fonte: Autor.

Considerando os preços unitários mencionados anteriormente, chegamos aos seguintes valores:

Tabela 26 - Preço total do material utilizado

Trecho	Volume Armadura (m ³)	Volume Subcapa (m ³)	Volume Núcleo Majorado (m ³)	Volume Total (m ³)
AB	509390.3	301533.1	1290390.6	2101314
CD	280613.8	170960.9	723357.4	1174932.1
Cabeço 1	4955.5	2998.4	13547.2	21501.2
Cabeço 2	7532.4	4624.3	21647.4	33804.1
Volume Total	802492	448707.3	2048942.6	3331551.4
Preço total (R\$)	426323875	39486242.4	180306948.8	646117066.2

Fonte: Autor.

Totalizando 646.117.066,20 reais.

Um levantamento batimétrico de alta precisão deverá ser realizado antes do início da obra e será utilizada como base de referência para a medição dos serviços. Esse levantamento deverá ser executado em seções transversais aos eixos dos quebra-mares, espaçadas de 10,0 m em 10,0 m, e em seções longitudinais aos eixos dos quebra-mares espaçadas de 20,0 m em 20,0 m, sendo que uma delas deverá passar obrigatoriamente pelos eixos considerados.

Além de se tratar de uma estrutura destacada, o relevo existente e ausência de estradas de acesso a caminhões tornam inviável a execução do molhe em ponta de aterro.

Figura 69 - Fotos aéreas da região



Fonte: Autor.

Assim, serão adotados batelões tipo *split* (*split hopper*) para o depósito do material do núcleo (*tout-venant*). Após determinada cota a partir da qual não é possível operar com batelões, será necessário a colocação do material por guindastes equipados com *clamshell* com capacidade de 21t. Em seguida, empregam-se escavadeiras e tratores de lâmina para o espalhamento do material.

Para os materiais de maior granulometria, isto é, blocos da subcapa e armadura (Accropodes), será necessário empregar guindastes e câbreas equipados com *orange peel grab*.

Figura 70 - Batelhão tipo split



Fonte: Hiramatsu et al., (2017).

Figura 71 - Guindaste orange peel grab



Fonte: Hiramatsu et al., (2017).

Durante o lançamento dos blocos de rocha das camadas de armaduras submersas, será recomendável permanentemente inspeção submarina, realizada por

mergulhadores de modo a detectar a ocorrência de defeitos na superfície dos taludes em construção.

Durante o lançamento dos blocos de rocha emersos, haverá permanente controle topográfico, de modo a orientar o espalhamento mecânico realizado por tratores e/ou carregadeiras.

O avanço dos quebra-mares será sempre executado à seção plena, inclusive as bermas e o núcleo não poderão avançar mais do que vinte (20) metros em relação ao lançamento da camada intermediária (sub carapaça) e carapaça de modo a prevenir ruptura do núcleo em caso de mar agitado.

Tal como o foi citado por Hiramatsu et al., (2017) considera-se um ano com 300 dias úteis de trabalho. Por se tratar de operações com guindastes sobre balsas, considerou-se um decréscimo de 15% dos dias úteis de trabalho, totalizando 255 dias de trabalho úteis no ano.

Considerando a quantidade de enrocamento necessária e a capacidade das pedreiras consideradas, chegamos a:

$$\frac{\text{Volume Necessário}}{\text{Produtividade}} = \frac{3664707 \text{ m}^3}{3800 \text{ m}^3/\text{dia}} = 965 \text{ dias úteis}$$

Para o transporte via batelões tipo *split* considerou-se:

Valor de batelão tipo *split* com capacidade de 1000 m³ com autopropulsão: 1.500.000 dólares.

Remuneração do capital investido: 20%.

Preço de aluguel por dia por batelão: 821 dólares ou 3284 reais.

Preço por dia: 3284 dólares ou 13136 reais.

Para o guindaste com capacidade de 21t a ser utilizado considerou-se:

Preço de aluguel por dia de guindaste: 194 reais por dia de acordo com o GUIA DO TRC (2005) corrigido pela inflação no período de 2005 e 2018 segundo o Índice Nacional de Custo de Construção.

Preço de aluguel por dia de flutuante: 267 reais (Ian Chmielewski, 2018, comunicação pessoal).

Preço de aluguel por dia do conjunto guindaste e flutuante: 461 reais.

Para o trator de lâmina (*bulldozer*) considerou-se o preço de 1240 reais por dia (HABITISSIMO, [s.d.]; www.habitissimo.com.br/orcamentos/aluguel-maquinario-e-ferramentas#1, 2017), (GUIA DO TRC, [s.d.]; [/www.guiadotrc.com.br/economia/tabelaprecosguindastes.asp](http://www.guiadotrc.com.br/economia/tabelaprecosguindastes.asp)).

Assim, o custo total dos maquinários será de 16.465.360,75 reais:

Tabela 27 - Preço total pelo uso de equipamentos

Equipamento	Preço diário (R\$)	Preço Total (R\$)
Batelões tipo Split	13136	14577676
Guindaste 21 t com flutuante	461	511594.75
Bulldozer	1240	1376090
Preço Total	14837	16465360.75

Fonte: GUIA DO TRC, [s.d.]; [/www.guiadotrc.com.br/economia/tabelaprecosguindastes.asp](http://www.guiadotrc.com.br/economia/tabelaprecosguindastes.asp).

Somando-se os custos apresentados, chega-se a um valor total de **662.582.426,2 reais**. Os custos referentes aos canteiros e investigações geotécnicas serão apresentados nos custos referentes à execução do sistema de monotrilho.

O preço das peças pré-moldadas foi considerado semelhante aos preços encontrados em demonstrações de custos de obras de monotrilhos existentes, corrigidos pela inflação.

A região da baixada santista é conhecida por precisar de fundações profundas devido à espessa camada de argila mole presente no solo da região. Com isso o custo da fundação supera o custo da superestrutura facilmente e aumenta o tempo necessário para execução, encarecendo ainda mais a obra em alto mar devido aos custos das embarcações que auxiliam a execução.

Somando isso às dificuldades de realizar à obra *offshore*, consideramos um incremento no custo de execução da fundação na área continental e um incremento relacionado, além da fundação, à montagem da estrutura em alto mar.

7.2. MONOTRILHO

A avaliação do custo do monotrilho baseou-se principalmente no Relatório Final - Consolidação das Propostas e Plano de Implementação, Volume III - Análise de Prioridades e Estratégia de Implantação – Ações Imediatas (PLAMUS, 2015).

A superestrutura do monotrilho a ser empregada será produzida em estruturas pré-fabricadas.

Abaixo segue planilha dos custos obtidos. Os preços foram separados em estrutura executada em terra e estrutura executada em mar. Considerou-se o valor de 700 dólares ou 2730 reais por m³ (Marcelo Menegatti, 2018, comunicação pessoal) para as estruturas pré-fabricadas, valor ao qual deve ser somado 50% para instalação. Para os blocos de fundação, considerou-se o valor de 1250 reais por m³. Para a execução das estacas pré-fabricadas considerou-se o valor de 677 reais por metro (Ian Chmielewski, 2018, comunicação pessoal).

Para a estrutura executada em mar, considerou-se um preço 3 vezes superior ao da estrutura executada em terra:

Tabela 28 - Quadro resumo das quantidades e características de elementos estruturais

Comprimento em terra (m)	7320
Comprimento em água (m)	2953
Número de Vigas em Água	246
Número de Vigas em Terra	610
Número de Pilares em Água	124
Número de Pilares em Terra	305
Número de Blocos em Água	124
Número de Blocos em Terra	305
Número de Estacas em Água	496
Número de Estacas em Terra	1220
Comprimento das Estacas (m)	88211
Volume de Bloco (m³)	11.7

Fonte: Autor.

Tabela 29 - Preço unitário por elemento estrutural

Item	Preço (R\$)	Unidade
Vigas em Terra	85995	R\$/peça
Pilares em Terra	122850	R\$/peça
Blocos em Terra	24494,4	R\$/peça
Estacas em Terra	677,0	R\$/metro
Vigas em Água	7166250,0	R\$/km
Pilares em Água	5118750,0	R\$/km
Blocos em Água	1020600,0	R\$/km
Estacas em Água	5799633,3	R\$/km
Vigas em Água	257985	R\$/peça
Pilares em Água	368550	R\$/peça
Blocos em Água	73483,2	R\$/peça
Estacas em Água	2031	R\$/metro
Vigas em Água	21498750	R\$/km
Pilares em Água	15481055,3	R\$/km
Blocos em Água	3086684,3	R\$/km
Estacas em Água	17540306,6	R\$/km
Estrutura em Terra	19105233,3	R\$/km
Estrutura em Água	57606796,1	R\$/km

Fonte: Autor.

Foi feito um cálculo de capacidade da linha para atender cinco navios descarregando simultaneamente e considerando uma velocidade de 60km/h o tempo para que cada módulo percorra o quebra-mar é de 1,7 minuto. Considerando dois minutos para carregar o contêiner, temos que o tempo de ciclo de carregamento é de aproximadamente 4 minutos para cada 5 módulo. O tempo gasto para percorrer totalmente a linha de 7320m é de aproximadamente 14 minutos mais dois minutos para carregamento e descarregamento. A capacidade é de descarregar 75 contêineres / hora e serão necessários 20 módulos para atender o fluxo contínuo da linha. Será considerada a compra de dois módulos para reposição em caso de falha, portanto para fins de custo, serão considerados 22 módulos.

Quanto ao custo do veículo, considerou-se valor apresentado no PLANUS (2015) de 19.498.540,00 reais para uma composição de 8 vagões, ou 2.437.318 reais por vagão.

Portanto, o custo total será de **525.645.144 reais**.

Tabela 30 - Custo total da obra referente ao monotrilho

Custo em terra (R\$)	255.326.448,00
Custo em água (R\$)	216.697.710,70
Custo Material Rodante (R\$)	53.620.985,00
Custo Total (R\$)	525.645.143,80

Fonte: Autor.

Os locais disponíveis e custos referentes ao canteiro de obras foram baseados nos estudos feitos por Hiramatsu et al., (2017). Considerou-se a utilização da área de terminal da Embraport, atualmente pertencente à DP World e Odebrecht para a entrada do material e cujo acesso poderá ocorrer pela BR101. A instalação do canteiro central ocorrerá na área vizinha ao Wilson & Sons devido a disponibilidade de espaço.

Figura 72 - Imagem aérea da da Embraport e da pedreira MaxBrita



Fonte: Adaptado de (GOOGLE MAPS, 2017).

Além de equipamentos e prédio administrativo, há necessidade de área para estocagem de materiais, cujo maior volume corresponde aos enrocamentos a serem utilizados na execução dos quebra-mares.

Para o cálculo da área necessária, considerou-se um pulmão de 6 dias para os enrocamentos, correspondendo à aproximadamente uma área de 10.000 m². Considerou-se um prédio-administrativo de 1.000 m², vestiários/banheiros de 1.000 m² para operários e estacionamento de máquinas de 5.000 m², totalizando uma área de 17.000 m².

Deve-se também prever a execução de atracadouro para os batalhões e flutuantes. Visto os comprimentos usuais entre 20 e 100 metros, recomenda-se atracadouro de comprimento mínimo igual a 100 metros.

Figura 73 - Imagem aérea da área de locação pertence à Wilson & Sons



Fonte: Adaptado de (GOOGLE MAPS, 2017).

Considerando o preço mencionado por Hiramatsu et al., (2017) de R\$3/m², o custo referente ao aluguel mensal será de 51.000 reais. Considerando o tempo de 1110 dias necessário, o custo total será de 1.887.000 reais.

Tabela 31 - Custo global do projeto

Custo Total Monotrilho (R\$)	525.645.144,00
Custo Total Porto Offshore (R\$)	1.887.000,00
Custo Total Locação (R\$)	662.582.426,00
Custo Total (R\$)	1.190.114.570,00

Fonte: Autor.

Levando-se em consideração os volumes e valores dispendidos com dragagem atuais:

Tabela 32 - Dados básicos do projeto

Dados básicos	
Volume atual (m³)	2.500.000,00
Dragagem atual (R\$)	60.000.000,00

Fonte: Autor.

Assim, considerando o custo de 1.190.114,570 reais, o tempo de retorno previsto será de 20 anos.

8. ANÁLISE

O desenvolvimento do projeto tomou por base os problemas associados ao Porto de Santos. Procurou-se, por meio de alternativas propostas por autoridades portuárias de grande relevância mundial, conceber uma solução possível e inovadora.

O trabalho se constitui de uma revisão bibliográfica geral, subdividida em cinco partes, levando em conta a história da navegação no Brasil, os problemas atuais do Porto de Santos, que é o estudo de caso abordado neste trabalho, conceitos modernos de desenvolvimento portuário como por exemplo o de Porto do Futuro, Porto Flexível e hub port (porto concentrador de carga e cabotagem), além de novas abordagens para a previsão de incertezas baseadas nos conceitos desenvolvidos na Europa, especificamente no Porto de Roterdã.

O projeto foi conduzido por uma metodologia que tratou de dois enfoques: a solução para a expansão do porto e a solução sustentável e inovadora para o transporte de cargas. O primeiro enfoque tratou da elaboração de diferentes alternativas de layouts buscando configurações que atendessem ao critério de abrigo de ondas e profundidade natural adequada ao tipo de embarcação a ser atracada no porto. Para cada alternativa, analisou-se as possíveis falhas e foram analisadas as eventuais alterações a serem feitas. A partir da melhor alternativa de layout concebida, prosseguiu-se com a determinação das áreas abrigadas e com o dimensionamento das áreas náuticas que constituem a região do porto.

Concluído o enfoque de gerenciamento costeiro, determinou-se uma solução inovadora para o transporte de cargas, que consiste de monotrilhos com mecanismos de sustentação de contêineres suspensos. A idealização de tal solução para os problemas de expansão do Porto de Santos foi possível graças à parceria entre a Promon Engenharia e a empresa EagleRail Container Logistics, que é responsável pelo desenvolvimento desse sistema de transporte inovador. Assim, o modelo final da solução integra os dois enfoques como um novo paradigma de porto, aliando a flexibilidade de um porto offshore com a praticidade, fluidez e sustentabilidade do sistema de monotrilhos no gerenciamento da carga.

Somado ao desenvolvimento do conceito de transporte de cargas via monotrilho, foi também discorrido sobre os possíveis traçados para esta solução na cidade

de Guarujá, como foram selecionados, os critérios adotados, uma breve avaliação dos impactos ambientais gerados por cada um dos traçados, além da apresentação da matriz de decisão completa, das notas e pesos atribuídos a cada critério e, por fim, a escolha do melhor traçado. Neste capítulo também foram abordadas as limitações físicas do sistema de transporte EagleRail, como estas limitações podem ser superadas para o caso do Porto de Santos e se tais limitações restringem a viabilidade da solução.

9. CONCLUSÃO

Ficou evidente ao longo do desenvolvimento do projeto que existem 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, buscou-se uma solução *offshore*, a exemplo dos grandes portos já muito desenvolvidos e consolidados do mundo.

Com este estudo de caso, foi desenvolvido um modelo de expansão que sirva de referência para outros portos estuarinos ao redor do mundo, expostos a desafios semelhantes 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 descartadas e o porquê destes descartes, a fim de formalizar um conceito geral e sólido sobre a expansão de portos estuarinos confinados em meio à cidade.

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 e que está longe de atingir seu limite de demanda.

Tal como previsto na primeira etapa, buscou-se realizar um estudo de viabilidade para implantação das soluções propostas. Analisou-se a implantação tanto do porto *offshore* quanto do sistema de transporte via monotrilho.

Após análise de quantidade e custos, é visível a magnitude de material e recursos financeiros que seriam necessários para implementar um quebra-mar de enrocamento. Após pesquisas sobre métodos modernos de construção de obras de abrigo, concluímos que o método mais adequado seria realizar a construção com estacas pranchas alternadas com estacas escavadas (\varnothing 80cm), ancoradas mutuamente entre as paredes e posteriormente preenchidas com areia de dragagem, como lastro e como forma de aumentar o momento de inércia da seção solicitada pelos impactos de ondas incidentes na estrutura.

10. REFERÊNCIAS

- ABNT 5978/80. **Contêiner**. Disponível em: < <http://www.guiadotrc.com.br/lei/contener.asp> >. Acesso em: 15 nov. 2018.
- ALFREDINI, P. et al. **The Future of Santos Harbour (brazil) Outer Acess Channel**, 2014.
- ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. **Engenharia Portuária: a técnica aliada ao enfoque logístico**. São Paulo: [s.n.].
- ALFREDINI, P.; ARASAKI, E.; MOREIRA, A. S. **Design Tide and Wave for Santos Offshore Port (Brazil)**, 2013.
- AMAR BOUZID, D.; BHATTACHARYA, S.; DASH, S.R. **Winkler Springs for pile design stress-strain of soils**, 2013.
- ARAÚJO, F. H. C. B. **Sistema Portuário Brasileiro Evolução e Desafios**. Trabalho de Conclusão de Curso—Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.
- ASHAR, A.; RODRIGUE, J. P. **Evolution of Containershops**, 2012. Disponível em: <people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch3en/conc3en/containerships.html>
- AUTORIDADE PORTUÁRIA DE ROTERDÃ. **Foto apresentada pela autoridade portuária de Roterdã**, [s.d.].
- BALLOU, R. H. **Logística empresarial: Transportes, administração de materiais e distribuição física**. São Paulo: [s.n.].
- BARBIER, E. B. et al. **The value of estuarine and coastal ecosystem services**, 2011.
- BERNARDINO, J. C. DE M. **Abordagem experimental para avaliação de manobras de navios em modelos físicos de espaços náuticos**. Tese de Doutorado—São Paulo: [s.n.].
- BICHOU, K. **Port operations, planning and logistics**, 2014.
- BOLAM, S. G. et al. **Ecological consequences of dredged material disposal in the marine environment : A holistic assessment of activities around the England and Wales coastline**, 2006.
- BOSHEK, M. R. **Reflection and Diffraction Around Breakwaters**. Tese de Mestrado—Rotterdam: TU Delft, 2009.
- BOUBACHA, E. Association Internationale Villes et Ports (AIVP). **Ciudad y Puerto: Mutacion y Recomposition**, 1997.

BRIENE, M. et al. **Strategie planmatige zandwinning, belangenafweging en instrumentarium**, 2011.

CÂNDIDO JOSÉ RODRIGUES, SA. **Aluguer equipamentos**. Disponível em: <http://media.cjr.pt/MULTIMEDIA/DOCUMENTOS/55/Tabela_ALUGUER.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2018.

CE DELFT. **Traffic noise in Europe, health effects, social costs and technical and policy options to reduce road and rail traffic noise**, 2007. Disponível em: <http://www.transportenvironment.org/sites/te/files/media/2008-02_traffic_noise_ce_delft_report.pdf>

CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA. **Carta Náutica Porto de Santos**, 2016. Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-cartas-raster/raster_disponiveis.html>. Acesso em: 4 maio. 2017

CHASE, R. B.; JACOBS, F. R.; AQUILANO, N. J. New York: McGraw-Hill/Irwin. **Operations Management for Competitive Advantage**, 2006.

CLI. **Concrete Layer Innovations**, 2017. Disponível em: <<http://www.concretelayer.com/computing-tool>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

CODESP. **Resumo completo da História do Porto de Santos**. Disponível em: <<http://www.portodesantos.com.br/historia.php>>. Acesso em: 26 jun. 2017.

DE NEUFVILLE, R et al. Man and Cybernetics. **The Design and Development of Next Generation Infrastructure Systems**, 2004.

DE NEUFVILLE, R. et al. Journal of the Transportation Research Board. **Real Options to Increase the Value of Intelligent Transportation Systems**, 2007.

DELTARES. **From sandy coasts to muddy waters, sediment management**, 2010. Disponível em: <http://www.deltares.nl/xmlpages/tan/files?p_file_id=14163>

DEWAR, J. A et al. **Assumption-Based Planning: A Planning Tool for Very Uncertain Times**, 1993.

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

EGYEDI, T. **Standards enhance system flexibility**, 2002. Disponível em: <<http://www.tudelft.nl/live/binaries/0b330c26-def4-45e3-a367-43b61bf0ae45/doc/mapping.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2012

FCTH. **Rosa de Ondas**, 2016.

GONÇALVES, H.; YANEZ, D. **Parâmetros Geotécnicos das Argilas Marinhas da Região do Porto de Santos**, 2010.

GOOGLE MAPS. **Mapa**, 2017.

GROOT, A. et al. **Biobouwers als onderdeel van een kansrijke waterveiligheidsstrategie voor Deltaprogramma Waddengebied**, 2014.

GUIA DO TRC. **Tabela de preços de serviços de guindastes**, 2005. Disponível em: < <http://www.guiadotrc.com.br/economia/tabelaprecosguindastes.asp> >. Acesso em: 10 nov. 2018.

GULER, N. **Economic evaluation of port investments**, 2003.

HABITISSIMO. **Aluguel de maquinário e ferramentas**. Disponível em: < <https://www.habitissimo.com.br/orcamentos/aluguel-maquinario-e-ferramentas#1> >. Acesso em: 16 nov. 2018.

HARALAMBIDES. International Journal for Maritime Economics. **Competition excess capacity and pricing of port infrastructure**, n. 4, p. 323–347, 2002.

HIRAMATSU, A.; FARIA, B.; GAMINO, C.; NAKAMURA, F. **Estudo de viabilidade técnica de molhes guias-correntes no canal da barra de Santos**. Trabalho de Formatura - São Paulo: 2017.

KAMPA, M.; CASTANAS, E. **Human health effects of air pollution**, 2007.

KAMPERLAAN, E. Project Manager Magazine. **Showcase Megaproject Management: Maasvlakte 2**, p. 12–17, 2005.

KWAKKEL, J. **The treatment of uncertainty in airport strategic planning**. PhD—Rotterdam: TU Delft, 2010.

MACHADO, I. S. DE. **O Porto de Santos e a Revolução dos Contêineres**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2012.

MAERSKLINE. Port Technology International. **Berth productivity will have to keep up with shippings supersized revolution**, n. 50, 2011.

MAERSKLINE. **The Worlds Largest Ship**, maio 2014. Disponível em: <<http://www.maersk.com/en/hardware/triple-e/the-hard-facts/the-worlds-largest-ship>>

MAES, F.; SCHRIJVERS, J. **Towards a Spatial Structure Plan for Sustainable Management of the Sea: Mixed actions**, 2005.

MARITIME PORT AUTHORITY OF SINGAPORE. **Port Statistics**, 2009. Disponível em: <http://www.mpa.gov.sg/sites/global_navigation/publications/port_statistics/port_statistics.page>. Acesso em: 30 jan. 2012

MCLEOD, K. L. et al. **Scientific consensus statement on marine ecosystem based management. The communication Partnership for Science and the Sea (COMPASS). Signed by 221 academic scientists and policy experts with relevant expertise**, 2005.

MORAES, I. R. DE. **Cidades portuárias sustentáveis - integração porto/cidade - veículo para sustentabilidade**. Mestrado—Santos: Universidade Católica de Santos, 2008.

MOREIRA, A. DE S. **Metodologia Aplicada para Obter um Sistema de Indicadores de Porto Concentrador de Carga**. Tese de Doutorado—São Paulo: Universidade de São Paulo, 2009.

MUTTRAY, M.; REEDJIK, J. et al. **Design of Concrete Armour Layers**. The Netherlands: Delta Marine Consultants, 2008.

NOTTEBOOM, T.; DUCRUET, C.; DE LANGEN, P. W. **Ports in proximity: Competition and coordination among adjacent seaports**, 2009.

NOTTEBOOM, T. E.; RODRIGUE, J. P. **Port regionalization: towards a new phase in port development**, 2005.

OECD. **Competition in ports and port services**, 2011. Disponível em: <<http://www.oecd.org/regreform/sectors/48837794.pdf>>

PASSCHIER-VERMEER, W.; PASSCHIER, W. F. **Noise exposure and public health**, 2000.

PIANC. **Criteria for the (Un)loading of Container Vessels**, nov. 2012.

PIANC. **“Sustainable ports” A Guide for Port Authorities**, 2014.

PLAMUS. **Relatório Final - Consolidação das Propostas e Plano de Implementação - Volume III - Análise de Prioridades e Estratégia de Implantação – Ações Imediatas**, out. 2015.

PORT OF ROTTERDAM. **Fact Sheet - Rotterdam Energy Port**, [s.d.].

PORTO, M. M. **Portos e o Desenvolvimento**. São Paulo: [s.n.].

R. S. LOVE. **Maritime Exploration in the Age of Discovery, 1415-1800**, 2006.

RESSURREICAO, A. **Different cultures, different values: The role of cultural variation in public’s “Willingness To Pay” for marine species conservation**, 2012.

ROBINSON, R. Maritime Policy and Management. **Ports as Elements in Value-Driven Chains Systems: The New Paradigm**, p. 241–255, 2002.

ROTTERDAM OFFICE FOR SUSTAINABILITY AND CLIMATE CHANGE. **Investing in sustainable growth. Rotterdam sustainability monitor**, 2011.

- SCHIPPER, C. A.; VERGOUWEN, S.; MINDERHOUD, S. **Port of the Future**, 2015.
- STRONKHORST, J. et al. **Environmental impact and recovery at two dumping sites for dredged material in the North Sea**. *Environmental Pollution*, 2003.
- SWANSON, D et al. Technological Forecasting and Social Change. v. 77, p. 924–939, 2010.
- TANEJA, P. et al. Maritime Policy and Management. **Implications of an uncertain future for port planning**, 2010c.
- TANEJA, P. et al. International Journal of Engineering Management and Economics. 2011b.
- TANEJA, P. **The Flexible Port**. Tese de Mestrado—Rotterdam: TU Delft, 19 mar. 2013.
- THE INTERNATIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT / THE WORLD BANK. **The evolution of ports in a competitive world**, 2007.
- TRANSPORT RESEARCH KNOWLEDGE CENTRE. **Transport and the environment. European Communities**, 2009.
- UNEP. **Taking Steps toward Marine and Coastal Ecosystem-Based Management - An Introductory Guide**, 2011.
- USACE. **Navigation data center, dredging costs**, 2014.
- VEENBOER, D. P. **The Port - City Relationship - The Success of Urban Maritime Ports**. Tese de Mestrado—Rotterdam: University Rotterdam, 2014.
- WALKER, W. E. New York: Springer. **Uncertainty in the framework of policy analysis In Public Policy Analysis: New Developments**, 2012.
- WALSH, B. **Why the future belongs to jellyfish**, 2015.
- WORLD BANK. **Philippines environmental monitor**, 2003.