

**JOSINALDO LEANDRO DE SOUZA**

**TEMA: ESTRUTURAS DE OBRAS PORTUÁRIAS**

RECIFE, JULHO 2011

**JOSINALDO LEANDRO DE SOUZA**

**TEMA: ESTRUTURAS DE OBRAS PORTUÁRIAS**

RECIFE, JULHO 2011

**JOSINALDO LEANDRO DE SOUZA**

**TEMA: ESTRUTURAS DE OBRAS PORTUÁRIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado no Centro de Tecnologia de  
Geociências da Universidade Federal de  
Pernambuco para a obtenção do título de  
engenheiro civil

Área de concentração:  
Engenharia estrutural

Orientador: professor José Jeferson do  
Rego Silva.

RECIFE, JULHO 2011

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S729e Souza, Josinaldo Leandro de.  
Estruturas de obras portuárias / Josinaldo Leandro de Souza. – Recife:  
O Autor, 2011.  
79 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. José Jéferson do Rego Silva.  
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Departamento de Engenharia Civil, 2011.  
Inclui Referências Bibliográficas e Anexos.

1. Engenharia Civil. 2. Estruturas Portuárias. 3. Infraestrutura de Portos  
e Obras Portuárias. I. Silva, José Jéferson do Rego Silva. II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.) BCTG/2011-167

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela saúde e força de vontade para enfrentar as barreiras.

À minha família que muito me ajudou para ser o que eu sou hoje e com certeza para as próximas conquistas.

Ao professor orientador José Inácio, que auxiliou-me na elaboração do trabalho.

À Universidade Federal de Pernambuco, pelo espaço, as pesquisas e aos professores que contribuíram para minha formação superior.

Aos meus colegas de curso e a todas as pessoas que acabei não citando, mas que tiveram alguma participação na minha formação.

## **RESUMO**

O presente trabalho pretende mostrar os principais tipos de obras portuárias que compõem um sistema portuário moderno. As obras podem compor vários tipos de terminais como o de sólidos e granéis e líquidos, terminal de passageiros, terminal de contêineres. E também elementos auxiliares dos terminais como os dolphins de amarração e atracação, molhes, e as defensas e cabeços. Essa demonstração das estruturas também abordará os tipos de solicitações das estruturas e suas respectivas metodologias de cálculo.

Palavras-chave: Estruturas Portuárias, Infraestrutura de Portos e Obras Portuárias.

## **ABSTRACT**

This study intends to show the main types of port works that make up a modern port system. The works can compose various types of terminals such as solids and liquids and bulk, passenger terminal, container terminal. And elements of the auxiliary terminals as mooring and berthing dolphins, jetties, and the fenders and bollards. This demonstration of the structures also address the types of requests of the structures and their respective calculation methodologies.

Keywords: Port Structures, Infrastructure Ports and Port Works.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Terminal de Granéis Sólidos e Cereais do Porto de Itaqui-MA.....	7
Figura 2 - Terminal de Passageiros Píer de Mauá –RJ. ....	8
Figura 3 - Dimensões dos contêineres (ALFREDINI, 2005). ....	10
Figura 4 - Terminal de Contêineres de Paranaguá.....	11
Figura 5- Dolfín misto do Porto de Vila Velha-ES. ....	12
Figura 6 - Cabeço de ferro fundido e Defenso do tipo Bridgestone.....	15
Figura 7: Dimensões características dos navios (Mason, 1982). ....	19
Figura 8- Posição limite de flutuação dos navios (Mason, 1982). ....	20
Figura 9: Movimentos dos Navios e Embarcações (Mason, 1982). ....	23
Figura 10: Ação do vento no Navio (Mason, 1982). ....	26
Figura 11: Área de incidência das correntes (Mason, 1982). ....	27
Figura 12: Esquema de um diagrama força-deslocamento (F-d) e energia- força (E-F) (Mason, 1982). ....	30
Figura 13: Cais de gravidade (ALFREDINI, 2005).....	33
Figura 14: Cais de estaca prancha atirantada (ALFEDINI, 2005). ....	34
Figura 15: Cais com plataforma de Alívio (ALFEDINI, 2005).....	35
Figura 16: Cais de paramento aberto (ALFEDINI, 2005). ....	36
Figura 17: Cais do tipo Píer (ALFEDINI, 2005).....	37
Figura 18: Empuxo no cais de estaca prancha (CAPUTO, 1976).....	40
Figura 19: Empuxo na cais atirantada (CAPUTO, 1976). ....	41
Figura 20: Bloco de ancoragem de tirantes (CAPUTO, 1976). ....	43
Figura 21: Local de estudo do projeto. ....	49
Figura 22: Seção transversal do Cais de granéis sólidos. ....	51
Figura 23: Seção transversal do TMU. ....	52
Figura 24: Locação das sondagens executadas. ....	53
Figura 25: Perfil das sondagens do TMU.....	55

<b>Figura 26: Perfil do cais de granel.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 27: Seção transversal típica das vigas utilizadas. ....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 28: Seção transversal do TMU no SAP2000. ....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 29: Seção longitudinal do TMU no SAP2000 ....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 30: Detalhe do perfil metálico HZ/AZ. ....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 31: Detalhe de uma faixa do cais de granel no SAP2000. ....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 32: Momento Fletor na seção transversal calculado no SAP2000.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 33: Esforço Normal na seção transversal calculado no SAP2000.....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 34: Esforço normal na seção longitudinal calculado no SAP2000. ....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 35: Esforço normal na estaca prancha calculado no SAP2000. ....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 36: Momento Fletor na estaca prancha calculado no SAP2000.....</b>	<b>66</b>

## **LISTAS DE TABELAS**

<b>Tabela 1 – Dimensões características dos contêineres (ALFREDINI, 2005).....</b>	<b>9</b>
<b>Tabela 2: Dimensões Básicas de Navios Graneleiros (Mason, 1982). .....</b>	<b>21</b>
<b>Tabela 3: Dimensões Básicas de Navios Petroleiros (Mason, 1982).....</b>	<b>21</b>
<b>Tabela 4: Dimensões Básicas de Navios de Carga Geral (Mason, 1982).....</b>	<b>21</b>
<b>Tabela 5: Dimensões Básicas de Navios de Passageiros (Mason, 1982). .....</b>	<b>22</b>
<b>Tabela 6: Movimentação recomendada para segurança operacional dos navios nos cais segundo (ALFREDINI, 2005). .....</b>	<b>24</b>
<b>Tabela 7: Velocidades recomendadas de Atracação para Grandes Navios em Função das Condições de Vento e Proteção da Bacia (Mason, 1982). .....</b>	<b>28</b>
<b>Tabela 8: Esforços nos Cabeços de acordo com a carga transportada (PORTOBRAS).....</b>	<b>47</b>
<b>Tabela 9: Sobrecargas recomendadas para projetos (PORTOBRAS).....</b>	<b>48</b>
<b>Tabela 10: Resumo das forças obtidas.....</b>	<b>56</b>

# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS.....</b>	<b>1</b>
1.1. <b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.2. <b>JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>2</b>
1.3. <b>OBJETIVO.....</b>	<b>2</b>
1.3.1. <b>OBJETIO GERAL .....</b>	<b>2</b>
1.3.2. <b>OBJETIVOS ESPECIFICOS.....</b>	<b>3</b>
1.4. <b>METODOLOGIA .....</b>	<b>3</b>
1.5. <b>ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....</b>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>5</b>
<b>TIPOS DE TERMINAIS PORTUARIOS E ACESSÓRIOS DE ESTRUTURAS</b>	
<b>PORTUARIAS .....</b>	<b>5</b>
2.1. <b>TERMINAL DE GRANÉIS SÓLIDOS E GRANÉIS LÍQUIDOS .....</b>	<b>5</b>
2.2. <b>TERMINAL DE PASSAGEIROS .....</b>	<b>7</b>
2.3. <b>TERMINAL DE CONTÊINERES .....</b>	<b>9</b>
2.4. <b>DOLFIN .....</b>	<b>11</b>
2.5. <b>ESTRUTURA DE DEFESA DO PORTO .....</b>	<b>13</b>
2.6. <b>TIPOS DE ACESSÓRIOS DE ESTRUTURAS PORTUÁRIAS .....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>16</b>
<b>ESFORÇOS SOLICITANTES, MÉTODOS CONSTRUTIVOS E MÉTODOS DE</b>	
<b>CÁLCULOS NAS OBRAS PORTUÁRIAS .....</b>	<b>16</b>
3.1. <b>HIDRÁULICA MARINHA.....</b>	<b>16</b>
3.2. <b>AÇÃO DOS NAVIOS SOBRE AS OBRAS PORTUÁRIAS.....</b>	<b>17</b>
3.2.1. <b>DIMENSÕES E CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DOS NAVIOS ..</b>	<b>18</b>
3.2.2. <b>MOVIMENTOS BÁSICOS DOS NAVIOS E EMBARCAÇÕES .....</b>	<b>22</b>
3.2.3. <b>FORÇAS DEVIDO AOS VENTOS E ÀS CORRENTES SOBRE OS</b>	
<b>NAVIOS .....</b>	<b>25</b>
3.2.3.1. <b>FORÇAS DEVIDO AO VENTO .....</b>	<b>25</b>
3.2.3.2. <b>FORÇAS DEVIDO ÀS CORRENTES.....</b>	<b>27</b>
3.2.4. <b>VELOCIDADES RECOMENDADAS DE ATRACAÇÃO.....</b>	<b>28</b>
3.2.5. <b>ELEMENTOS DE ABSORÇÃO DE ENERGIA NAS ESTRUTURAS</b>	
<b>PORTUARIA .....</b>	<b>29</b>
3.3. <b>MÉTODOS CONSTRUTIVOS .....</b>	<b>31</b>
3.3.1. <b>CAIS DE GRAVIDADE.....</b>	<b>32</b>
3.3.2. <b>CAIS EM CORTINA DE ESTACA PRANCHA.....</b>	<b>33</b>

3.3.3. CAIS COM PLATAFORMA DE ALÍVIO .....	34
3.3.4. CAIS DE PARAMENTO ABERTO.....	35
3.4. EMPUXOS DE TERRAS .....	38
3.5. MÉTODOS DE CÁLCULO .....	39
3.5.1. CORTINAS DE ESTACAS-PRANCHAS.....	40
3.5.2. CORTINAS DE ESTACAS-PRANCHAS ATIRANTADAS .....	41
3.5.2.1 ANCORAGEM .....	42
3.5.3. MUROS DE GRAVIDADE .....	43
3.5.4. CAIS DE PARAMENTO ABERTO .....	44
CAPÍTULO 4.....	45
RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS .....	45
4.1 AMARRAÇÃO DOS NAVIOS .....	45
4.2. VENTO .....	45
4.3. CORRENTES MARÍTIMAS.....	46
4.4. TRAÇÃO NOS CABEÇOS .....	46
4.5. SOBRECARGAS VERTICAIS .....	47
CAPÍTULO 5.....	49
ESTUDO DE CASO.....	49
5.1. DESCRIÇÃO DO LOCAL E DAS ESTRUTURAS .....	49
5.2. ESTUDO GEOTECNICO DO LOCAL .....	53
5.3. ESTIMATIVA DOS ESFORÇOS DOS NAVIOS .....	55
5.4. LANÇAMENTO DAS ESTRUTURAS .....	57
5.5. SOLICITAÇÕES DE CARREGAMENTO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	62
5.6. RECOMENDAÇÕES CONSTRUTIVAS.....	67
CAPÍTULO 6.....	68
CONCLUSÕES.....	68
CAPÍTULO 7.....	70
ANEXOS.....	70
ANEXO 1.....	70
ANEXO 2.....	71
ANEXO 3.....	74
ANEXO 4.....	75
CAPÍTULO 8.....	77
BIBLIOGRAFIA .....	77

## **CAPÍTULO 1**

### **CONSIDERAÇÕES GERAIS**

#### **1.1. INTRODUÇÃO**

O sistema de transporte é um elemento essencial para economia do país, porque é através dele que se movimentam as mercadorias, as máquinas, as produções agrícolas, etc. Envolve basicamente elementos de infraestruturas, veículos e operações comerciais.

Neste trabalho será destacado apenas o setor da infraestrutura correspondentemente aos portos. Eles são locais de transição de vários sistemas de transportes. As modalidades de transporte envolvidas na transição podem ser hidroviária, rodoviária e ferroviária. A definição do local de uma obra portuária envolvem considerações comerciais, geográficas, geológicas e veículos a serem utilizados.

Outros fatores importantes que devem ser lembrados são as quantidades, o tipo e o volume estimado dos materiais transportados. Eles fornecem os fundamentos necessários para concepção do projeto portuário e também permitem verificar se é necessário adotar estruturas que podem auxiliar nas manobras que serão realizadas. Nos portos, em geral, circulam equipamentos com grande capacidade de carga, exigindo estruturas de grande porte, isto demanda que a concepção estrutural deva ser interligada com o método construtivo para que o projeto seja o mais viável possível.

A implantação de um terminal portuário exige grandes investimentos para a construção de obras de engenharia que garanta condições satisfatórias de acostagem de embarcações e permita o movimento de cargas ou passageiros.

Além disso, deve proteger as embarcações de ventos, ondas e correntes marítimas de modo a garantir deslocamentos e esforços mínimos durante as operações de atracação e amarração.

Os parâmetros e variáveis envolvidas neste tipo de obra são multidisciplinares, ou seja, engloba o conhecimento de varias áreas, como a Hidrodinâmica que fornece dados sobre ações do mar, das ondas, das marés; a Geotecnia e Mecânica dos Solos que é o estudo do terreno e estuários, e permite o conhecimento técnico necessário para assegurar a estabilidade dos aterros das outras obras de fundação; Estática e Dinâmica das Estruturas que dá ênfase na teoria estrutural dos estaqueamentos e dos pórticos espaciais, sob a ação das cargas e dos equipamentos do impacto dos navios; Engenharia Naval que informa as características dos navios e embarcações, etc. (Mason, 1982)

## **1.2. JUSTIFICATIVA**

Pela importância que as obras portuárias desempenham na economia do país, este assunto deveria ser mais divulgado, o conteúdo é pouco visto e abordado na graduação da engenharia civil, nos livros didáticos e técnicos. A oportunidade de participar de projetos nesta área mostrou que o contexto exige um acervo bibliográfico atualizado referente ao tema, principalmente quanto às metodologias aplicadas à elaboração dos projetos portuários.

## **1.3. OBJETIVO**

### **1.3.1. OBJETIVO GERAL**

Assim, espera-se que este trabalho possa contribuir para a divulgação de informações tecnológicas sobre estruturas portuárias, bem como servir de complementação à formação e capacitação técnica do autor sobre estruturas portuárias mais usadas nacionalmente e internacionalmente.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

O objetivo específico é descrever alguns tipos de cais, suas estruturas suplementares e métodos de cálculo.

### **1.4. METODOLOGIA**

A metodologia proposta para alcançar os objetivos específicos consiste em:

- Definir para os diversos tipos de terminais, e dolphins de amarração e atracação.
- Comentar sobre os tipos estruturas secundárias necessárias na maioria dos projetos tais como as defensas e cabeços.
- Apresentar os principais tipos de solicitações incluindo o peso próprio, sobrecarga acidental, ação da natureza, ações dos navios sobre as estruturas, etc.
- Apresentar os métodos de cálculo, mais utilizados.
- E finalmente comentar sobre o dimensionamento das estruturas principais.

## 1.5. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No capítulo 1 estão descritas as informações referentes à introdução, a justificativa e relevâncias, os objetivos e a metodologia utilizada na realização do presente trabalho.

No segundo mostra os tipos de terminais e os elementos auxiliares das obras portuárias.

O terceiro relata as teorias, os métodos de cálculo, as solicitações, os métodos construtivos e as principais áreas da engenharia em que o tema exige um mínimo de conhecimento para o seu dimensionamento.

O capítulo 4 menciona as recomendações técnicas relevantes para o dimensionamento das obras acostáveis.

No quinto é desenvolvido um anteprojeto de dois tipos de cais cuja finalidade é mostrar as dimensões mínimas para os elementos de acordo com as possíveis solicitações.

No sexto apresenta-se a conclusão das análises realizadas e o sétimo capítulo contém os anexos da pesquisa, onde estão incluídos o memorial de cálculo e os arquivos que auxiliaram na elaboração desse trabalho.

No último capítulo encontra-se a bibliografia que auxiliou na elaboração do trabalho.

## **CAPÍTULO 2**

### **TIPOS DE TERMINAIS PORTUARIOS E ACESSÓRIOS DE ESTRUTURAS PORTUARIAS**

Do ponto de vista da construção civil os terminais, de maneira geral, são formados por estruturas que recebem equipamentos de carga e descarga, os esforços de atracação e amarração dos navios (que estão associados ao vento, às ondas, correntes marítimas e principalmente ao impacto do navio) excluindo-se as ações geotécnicas (empuxos de solo, efeito Tshebotarioff, etc.).

São comuns nos terminais, áreas ou pátios onde são movimentadas e armazenadas as cargas. Estas estruturas podem ser concebidas como uma laje apoiada sobre estacas ou apoiada diretamente no solo. Evidentemente este caso, deve-se ter um solo com capacidade de carga adequada. (Fanti, 2007)

#### **2.1. TERMINAL DE GRANÉIS SÓLIDOS E GRANÉIS LÍQUIDOS**

A construção de um sistema portuário depende da demanda e o tipo de produtos que se deseja transportar, e muitos desses elementos necessitam de ser transportados com grande volume individualizado e a forma de transporte a granel é a mais indicada. Essa modalidade é subdividida em granéis sólidos e granéis líquidos.

O conceito de granel sólido engloba todos aqueles produtos que são transportados de forma homogênea como material solto e podendo ser manipulado de forma contínua. Os tipos mais comuns de granéis sólidos são os minérios de ferro, manganês, bauxita, carvão, sal, trigo, soja e fertilizantes. (Andrade, 2003).

O conceito de granel líquido engloba a natureza do produto que pode ser definido em Ordinários e Petrolíferos. Nos Ordinários estão os líquidos não combustíveis e não tóxicos como a água, vinho, azeite, etc. E os produtos petrolíferos são o óleo bruto, seus derivados e os gases liquefeitos.

Nos terminais de granéis cereais, são empregados equipamentos como sugadores, tubos telescópicos ou lanças, tendo sempre instalações de ensilagem para evitar a fermentação do produto e uma rede de equipamentos de carga e descarga. Nos terminais de granéis líquidos, os equipamentos são, em geral, fixos e constituídos de tubulações, braços móveis, instalações de bombeamento e recalque. Nos terminais de minérios, devem ser projetadas vastas áreas de estocagem, nas quais deve ser dispostos de sistemas de esteiras transportadoras, sistema de carga descarga e casas de transferência de materiais (Mason, 1982). A figura 1 mostra um terminal de Granéis Sólidos e Cereais.



Figura 1 - Terminal de Granéis Sólidos e Cereais do Porto de Itaqui-MA.

## 2.2. TERMINAL DE PASSAGEIROS

O terminal de passageiros é um sistema portuário que tem como finalidade transportar pessoas. Além das funções de atracação e amarração dos navios, também deve oferecer infraestrutura de serviços de embarque e desembarque, fornecimento de água limpa e energia, remoção de esgotos, pátio de docagem para serviços de acomodação e manutenção dos veículos. A figura 2 mostra um terminal de passageiros.



**Figura 2 - Terminal de Passageiros Píer de Mauá –RJ.**

A estrutura física deste tipo de terminal não utiliza elementos específicos para as atividades de embarque desembarque, pois a maioria dos navios já possui esses equipamentos, mas deve haver nesse local estruturas necessárias para realizar as atividades mencionadas anteriormente.

Este tipo de terminal apresenta uma solicitação de esforços diferente dos demais tipos de terminais, pois as cargas presentes são bastantes menores comparados com os outros. Isso deve ser levado em consideração no momento do planejamento, pois o local desse empreendimento pode ser separado dos demais. Além disso, as dimensões das estruturas são bem menores que os outros, necessitando de poucos elementos auxiliares nas suas operações.

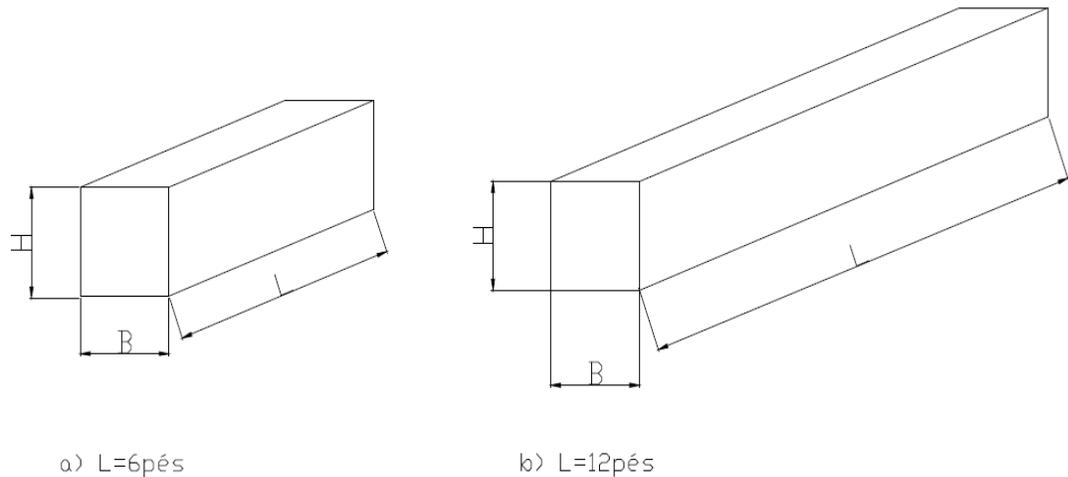
### 2.3. TERMINAL DE CONTÊINERES

O terminal de contêineres são portos que devem ser especializados em promover serviços de elevada produtividade em termos de unidades massa transportada por hora. A vantagem deste tipo de terminal é realizar carregamentos e descarregamentos de navios com cargas tipicamente uniformes.

Os contêineres são recipientes padronizados de metal destinados ao acondicionamento e transporte de carga em navios, trens e caminhões. É dotado de dispositivos de segurança e também tem grande papel de auxiliar no armazenamento no navio e no pátio de depósito do porto. A tabela 1 e a figura 3 mostram as dimensões básicas de um contêiner.

**Tabela 1 – Dimensões características dos contêineres (ALFREDINI, 2005).**

comprimento (pés)	material	L (m)	B (m)	H (m)	peso do contêiner (tf)	peso de carga máxima (tf)	peso máximo total (tf)	volume interno (m <sup>3</sup> )
40	alumínio	12,19	2,44	2,44	2,8	27,7	30,5	63,3
40	alumínio	12,19	2,44	2,59	3,4	27,1	30,5	67
40	alumínio	12,19	2,44	2,89	3,9	26,6	30,5	75
40	aço	12,19	2,44	2,44	3,4	27,1	30,5	63
40	aço	12,19	2,44	2,59	3,6	26,9	30,5	67
20	alumínio	6,06	2,44	2,59	1,9	18,4	20,3	33
20	aço	6,06	2,44	2,44	2,0	18,3	20,3	31
20	aço	6,06	2,44	2,59	2,2	18,1	20,3	33



**Figura 3 - Dimensões dos contêineres (ALFREDINI, 2005).**

Este tipo de terminal exige grandes estruturas e equipamentos para auxiliar nas atividades carga descarga em tempo muito curto. Os equipamentos auxiliares na operação são os vários tipos de guindastes disponíveis para a realização das atividades. Os guindastes podem estar apoiados sobre trilhos ou pneus, podem locomover em linha reta ou fazer pequenas curvas para realizar a manobra de carga descarga.

Na concepção do projeto de um terminal de contêineres a ação de carga devido ao guindaste, ao contêiner e aos dois agindo juntos deve ser sempre levada em consideração, por causa da pressão elevada que cada elemento transmite a estrutura. As cargas geralmente são elevadas e caso a laje ou piso não sejam dimensionados adequadamente, a solicitação pode prejudicar o serviço ou até levar a ruptura localizada, (FANTI, 2007). A figura 4 mostra um terminal de contêineres, onde se nota os guindastes e contêineres.



Figura 4 - Terminal de Contêineres de Paranaguá.

## 2.4. DOLFIN

São estruturas portuárias situadas em locais de maiores profundidades, com dimensões capazes de receber embarcações. O dolfin é independente da linha do porto, e pode ser ou não dotado de plataforma de acesso. Em geral, possui apenas equipamentos que auxiliam a amarração, ou sistemas que absorvam a energia de impacto dos navios. Os dolfins podem ser classificados em de amarração, de atracação ou mistos.

Os dolfins de amarração têm a função de apenas manter o navio atracado no porto de forma a evitar impactos sucessivos em toda a estrutura. Ele possui um dispositivo de amarração entre o navio e a si próprio. O elemento utilizado para amarração é chamado na literatura técnica de cabeça e também será descrito mais a diante neste trabalho.

Os dolphins de atracação têm função apenas de receber os impactos do navio no momento de atracação ou ancoragem, mas para receber as ações de choque repentino necessitam de dispositivos específicos denominados de defenso, serão descrito em uma etapa mais a frente do trabalho. Os dolphins mistos são combinações dos dois anteriores.

Estes elementos só conseguem resistir aos esforços atuantes nele, porque a sua estrutura possui uma inércia bastante elevada (dimensões muito grandes). Em geral, é constituído de estacas verticais e estacas inclinadas posicionadas de forma a resistir adequadamente aos esforços atuantes. Possui uma laje com grande espessura, acima de 1m, com a finalidade de apoiar o cabeço e servir de diafragma na estrutura. A figura 5 mostra um dolphin com dupla finalidade, de atracação e amarração.



**Figura 5- Dolphin misto do Porto de Vila Velha-ES.**

## 2.5. ESTRUTURA DE DEFESA DO PORTO

O local de implantação do porto deve ser protegido contra a ação de ondas que incidem diretamente nos navios. Elas causam impactos que dificultam o dimensionamento das estruturas de atracação e os navios para o transporte de grande volume de mercadorias.

Tendo isso em vista são necessárias construções de estruturas que diminuam a ação das ondas. Os elementos de defesa mais comuns são os molhes, diques ou quebra-mar, concebidos para formar abrigos que minimize a ação das ondas do mar.

Para construção de qualquer sistema de defesa portuário é necessário o conhecimento da Hidrodinâmica das ondas. Essa noção é necessária para os processos físicos inclusos nas ondas. São: o comprimento, altura, período, força, capacidade de trazer sedimentos, capacidade de gerar erosão, variação da maré e etc.

Tendo em vista os parâmetros das ondas o elemento de defesa deverá criar um ambiente livre de grande agitação ondulatória, mantendo a profundidade necessária para atracação dos navios e interceptar o transporte de sedimentos que poderão ficar alojado no local e evitar a erosão provocada pelas ondas.

Os molhes que provocam a ruptura das ondas podem ser construídos por pedras naturais ou elementos artificiais, como por exemplo, os tetrápodes. E os diques refletores de ondas podem ser construídos de maciços de concreto simples ou caixões de concreto armado. A figura 1 contém um molhe construído e mostra a bacia criada.

Além de atender os requisitos mencionados, a obra deve atender às condições ambientais e ecológicas. Deve ser dimensionada de forma a causar a menor degradação possível. O tema atualmente pode inviabilizar qualquer projeto ou empreendimento, porque as estruturas a serem criadas são de grandes dimensões e extensões.

## 2.6. TIPOS DE ACESSÓRIOS DE ESTRUTURAS PORTUÁRIAS

A execução das atividades de carga e descarga de um navio necessita que ele esteja ancorado e amarrado. A embarcação no momento de atracação aplica uma grande força horizontal na obra devido ao impacto. A velocidade de ancoragem é muito baixa, em torno de 0,30m/s, mas o navio possui uma grande massa, com isso eleva bastante a energia potencial de deformação das estruturas.

Para este caso são utilizados elementos na interface entre os navios e estruturas, chamados de defensas e têm como objetivo absorver a energia transmitida pelas embarcações.

A solicitação deve ser a menor possível na obra portuária sem causar danos nos cascos dos navios como deformações na superfície ou furos por punção. Deve impedir o contato direto dos navios com as partes desprotegidas das estruturas.

As defensas devem possuir uma boa capacidade de absorção de esforços localizados aplicados em pequenos setores no momento da manobra de atracação. A quantidade ou o tipo de defesa vai depender dos tipos de portos e navios utilizados.

Outro fato importante é que o navio possui seis graus de liberdade, três de translação e três de rotação, dessa forma, é necessária a utilização de sistemas de amarração do navio à estrutura.

Os elementos de fixação têm como objetivo eliminar ou limitar os movimentos, advindos dos graus de liberdade, de forma a permitir uma operação de movimentação de carga/descarga dentro dos limites operacionais toleráveis.

Eles são utilizados entre as embarcações e as estruturas, e devem seguir uma lógica de funcionamento para amarração do navio. A coerência de amarração leva em consideração as dimensões do navio, devendo ser da forma mais simétrica possível. Os ângulos que os cabos fazem em relação à estrutura

também devem ser considerados, para que alguns esforços não tenham maiores solicitações que a prevista.

Outros equipamentos utilizados na fixação e que ficam incorporados na estrutura são chamados de cabeços ou podem ser ganchos de desengate rápido.

A locação dos cabeços de amarração depende das dimensões das embarcações e do tipo de obra portuária, mas há uma recomendação que a distância entres eles seja pelo menos de 1 a 1,4 vezes a largura dos navios.

Em grandes portos, onde o percentual de segurança é maior, os cabeços são substituídos por guinchos de desengate rápido, que permitem a liberação imediata do navio. A figura 6 mostra um cabeço de amarração de ferro fundido e uma defesa do tipo BRIDGESTONE.



Figura 6 - Cabeço de ferro fundido e Defesa do tipo Bridgestone.

## **CAPÍTULO 3**

### **ESFORÇOS SOLICITANTES, MÉTODOS CONSTRUTIVOS E MÉTODOS DE CÁLCULOS NAS OBRAS PORTUÁRIAS**

Este capítulo vem com o intuito de mostrar as principais teorias e métodos construtivos utilizados para a elaboração de projetos da área portuária. As principais áreas envolvidas exigem de um mínimo de conhecimento, em: hidráulica marinha, mecânica dos solos, mecânica das estruturas e os tipos de materiais disponíveis para a utilização. Essa exposição será limitada apenas aos aspectos físicos e práticos da teoria e aos conceitos relatados a seguir.

#### **3.1. HIDRÁULICA MARINHA**

Um dos primeiros aspectos a serem estudados são as ondas de superfície do local. Esses estudos consistem em ter uma estimativa da velocidade de deslocamento do fluido, comprimento da onda, período, altura da onda, e profundidade do fundo da bacia de atracação.

A partir dos dados da hidráulica marinha obtida e utilizando várias formulações matemáticas podem ser desenvolvidas formulações matemáticas. Com esse resultado desenvolvem-se diagramas de pressões das ondas. Os diagramas de pressão mostram quais são as solicitações que as ondas causam nas obras portuárias. As estruturas que merecem atenção devido à ação das ondas são os diques, molhes e estacas do píer ou dos dolphins.

Outro estudo a ser realizado é o de ressonância das ondas em bacias. Pois essa atividade inclui na escolha da conformação do layout da bacia a ser criada. De forma que as ondas que entrem na bacia percam boa parte da energia. Isso é importante para que as estruturas e navios recebam as ações das ondas com uma energia menor.

O estudo das marés é bastante complexo de executar, mas necessário para a realização da escolha do tipo de estrutura acostável a ser adotada, a partir das alturas máximas e mínimas do nível d'água do local.

A previsão de marés é um trabalho que envolve uma combinação de teoria, resultados de observações e extrapolações. As informações são descritas nas “tabuas de marés” que podem ser consultadas para a retirada de informações.

A consulta das tabuas de marés que, além dos níveis máximos e mínimos, dão a variação de nível da superfície do mar, é imprescindível na elaboração dos projetos das obras portuárias e no seu planejamento construtivo.

### **3.2. AÇÃO DOS NAVIOS SOBRE AS OBRAS PORTUÁRIAS**

Um elemento primordial para o projeto das obras marítimas é a avaliação das ações que os navios podem exercer sobre as estruturas. Estas solicitações caracterizam-se basicamente pelos esforços que as embarcações transmitem às obras durante as manobras de atracação e os esforços de fixação dos mesmos, após a atracação.

Sob o primeiro aspecto, deve-se considerar o impacto que os navios exercem contra as obras de acostagem, com a conseqüente transmissão da energia cinética do navio ao elemento portuário e a sua transformação em energia de deformação para as estruturas ou defensas. Da equivalência entre a energia cinética de impacto dos navios e a energia de deformação, consideradas as diversas perdas e outros fatores que influem no processo, pode-se deduzir as forças de impacto para efeitos de dimensionamento das obras e defensas.

O segundo aspecto a ser considerado é a fixação dos navios levando em conta a ação dos ventos, correntes marítimas e ondas sobre os mesmos, determinando ou avaliando as forças resultantes transmitidas pela amarração aos elementos de fixação.

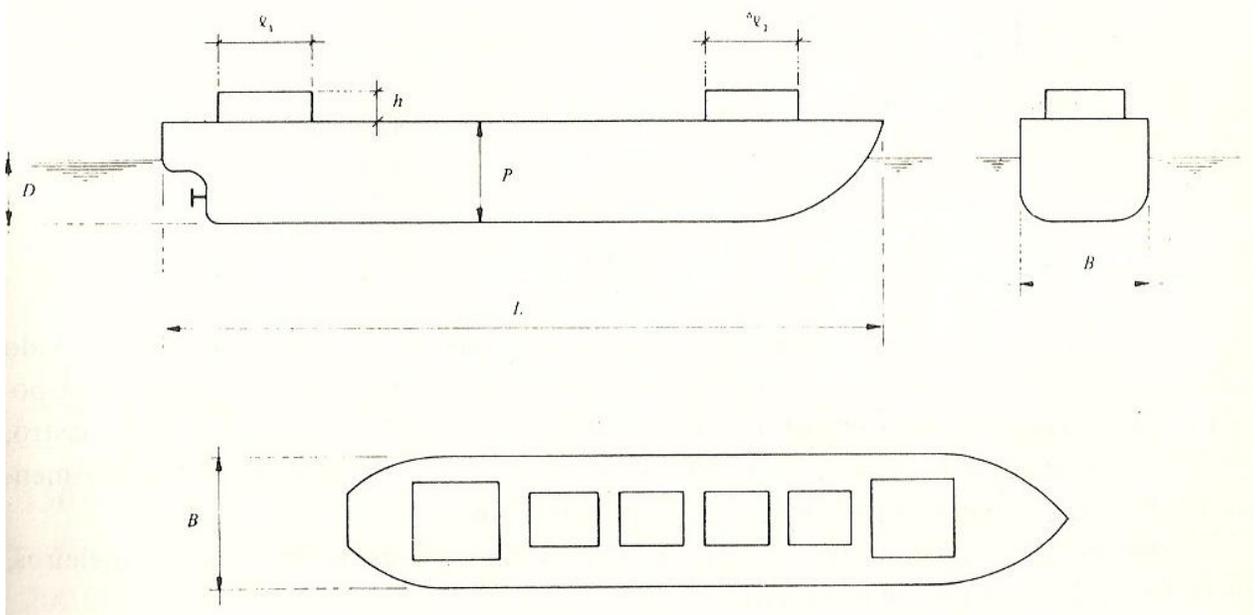
Os esforços estimados, as dimensões e características dos principais tipos de navios, seus movimentos sob a ação do mar e de correntes, velocidades de manobra e atracação dos navios, tipos importantes de defensas e elementos de amarração servirão de base para verificar a estabilidade e dimensionar as estruturas.

Nos itens a seguir serão apresentados um estudo geral dos tópicos acima enumerados.

### **3.2.1. DIMENSÕES E CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DOS NAVIOS**

Para a elaboração de projetos de obras acostáveis, é necessário o conhecimento de algumas das características dos navios que operam nas instalações. A figura 7 mostra algumas informações básicas, referentes às principais dimensões dos navios.

Os parâmetros fornecidos devem ser considerados apenas como ordem de grandeza. Para a elaboração dos projetos, é recomendável consultar armadores, usuários ou estaleiros, de modo a obter dados mais precisos.



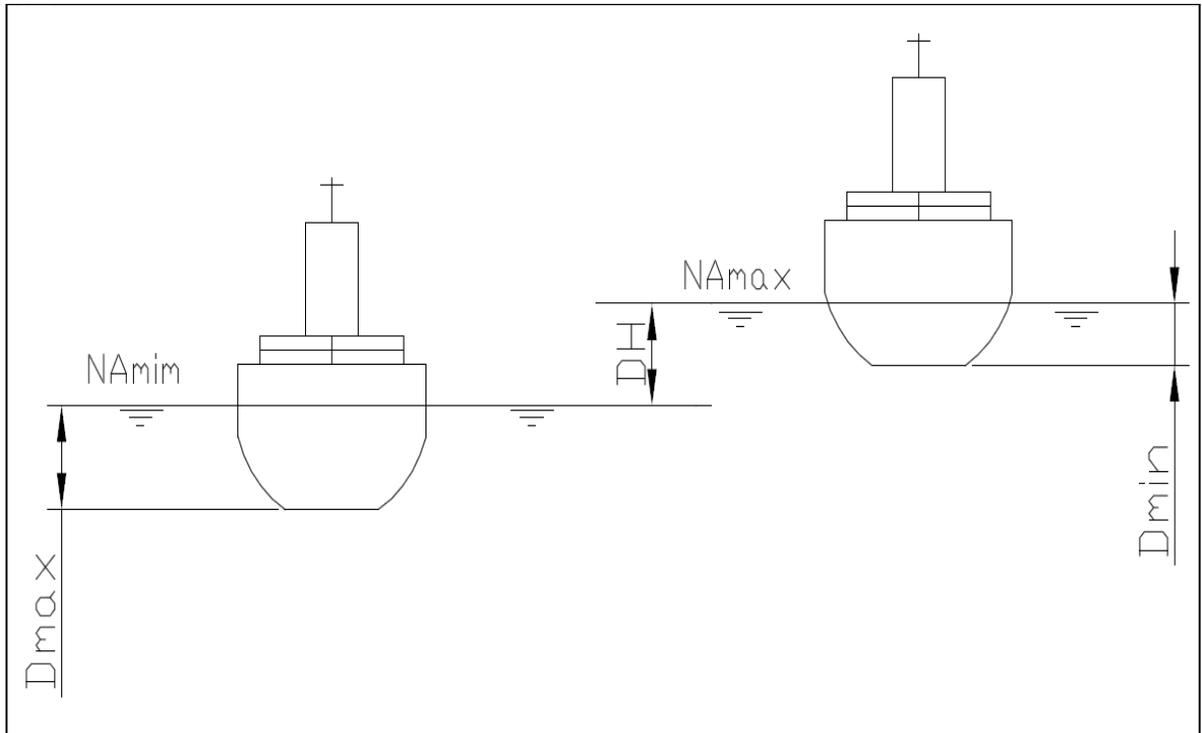
**Figura 7: Dimensões características dos navios (Mason, 1982).**

- L- comprimento total – a distância entre os pontos extremos do navio, no sentido do maior eixo;
- B – boca (largura) – distância entre os pontos extremos do costado, na seção média do navio;
- P – pontal – altura total do casco do navio;
- D – calado – altura entre a linha de flutuação e a quilha;
- W – deslocamento – peso do volume de água deslocado pelo navio (em carga, em lastro, em vazio), em toneladas métricas;
- DW – deadweight – diferença entre o deslocamento em carga e em vazio.

De acordo com a definição acima, a tonelage deadweight de um navio correspondente ao peso total de carga, passageiros, tripulação, combustível e lastro que o mesmo poderá transportar, quando totalmente carregado.

Por questões de estabilidade, os navios não navegavam totalmente em vazio, sendo lastreado com água.

Para efeito de projeto de obras acostáveis, é essencial conhecer as posições-limite de flutuação dos navios, figura 8.



**Figura 8- Posição limite de flutuação dos navios (Mason, 1982).**

A posição-limite mais baixa é dada para o caso do navio carregado, com o calado máximo  $D_{max}$  e em condições de nível mínimo de água. A posição-limite mais alta correspondente ao caso do navio em carga mínima, ou seja, em lastro, com o nível máximo da maré. Estas posições influem na fixação do coroamento da obra de acostagem e no gabarito dos equipamentos.

A seguir, um resumo das principais características de navios graneleiros, petroleiros, de carga geral e passageiros.

**Tabela 2: Dimensões Básicas de Navios Graneleiros (Mason, 1982).**

NAVIOS GRANELEIROS					
W (t)	DW (t)	L (m)	B (m)	P (m)	D (m)
25000	20000	160	20,0	12,5	8,0
60000	50000	205	27,4	16,5	11,2
120000	100000	255	37,2	20,8	15,2
180000	150000	283	43,2	23,5	17,5
240000	200000	301	50,0	25,3	18,5
300000	250000	330	53,0	28,5	21,0
330000	280000	340	54,5	30,5	22,0

**Tabela 3: Dimensões Básicas de Navios Petroleiros (Mason, 1982).**

NAVIOS PETROLEIROS					
W (t)	DW (t)	L (m)	B (m)	P (m)	D (m)
20000	15000	155	19,5	11,5	9,0
40000	31000	190	26,0	13,5	10,5
60000	46000	220	30,0	16,0	12,0
80000	61000	240	33,0	17,2	13,0
100000	76000	260	36,0	18,3	13,8
120000	95000	270	38,0	19,5	14,5
150000	122000	290	42,0	21,5	16,0
200000	165000	315	46,0	23,0	17,0
280000	250000	330	52,0	28,0	21,0

**Tabela 4: Dimensões Básicas de Navios de Carga Geral (Mason, 1982).**

NAVIOS DE CARGA GERAL					
W (t)	DW (t)	L (m)	B (m)	P (m)	D (m)
5000	3500	100	14	8,0	6
10000	7500	120	16	10,0	7
15000	11000	140	18	12,0	8
20000	15000	155	20	13,5	9
30000	22000	175	22	14,0	10
40000	30000	195	24	15,0	11

**Tabela 5: Dimensões Básicas de Navios de Passageiros (Mason, 1982).**

NAVIOS DE PASSAGEIROS					
W (t)	DW (t)	L (m)	B (m)	P (m)	D (m)
10000	3500	140	19	12	7
20000	7000	180	24	14	8,2
30000	10000	210	26,5	16	9
50000	13000	255	31	18,5	10,5
70000	15400	290	34	20,6	11,6

Os calados D correspondentes aos navios em carga. Para termos uma estimativa do calado em vazio, em primeira aproximação, podemos usar:

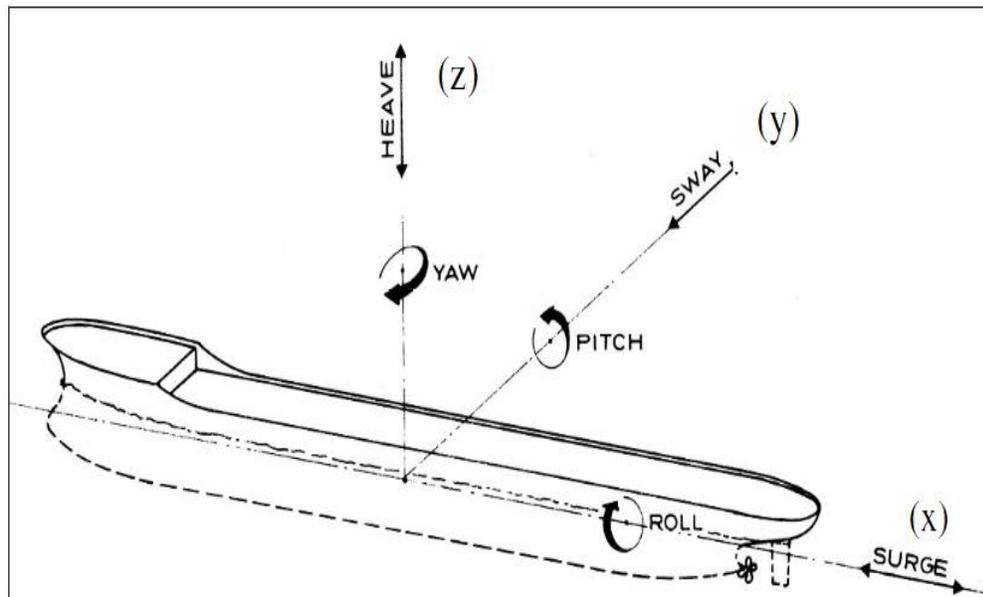
$$D_{mín} = \frac{W-DW}{W} \times D \quad (1)$$

É muito frequente ter que projetar instalações para embarcações de menor porte, tais como rebocadores, barças, ferry-boats, lanchas, etc.

É difícil apresentar uma relação de dimensões e dados para embarcações deste tipo em virtude de sua grande aleatoriedade. As barças e ferries têm, em geral, pequenos calados para formas que se aproximam do paralelepípedo. Suas tonelagens variam entre algumas centenas e 4000t a 5000t. Em cada caso, deve-se pesquisar os dados apropriados para uso nos projetos.

### 3.2.2. MOVIMENTOS BÁSICOS DOS NAVIOS E EMBARCAÇÕES

Sob a ação do mar, os navios e embarcações estão sujeitos a movimento, cujo conhecimento, pelo menos em tese, deve ser do interesse do projetista de obras de atracação. É possível quantificar matematicamente estes movimentos, uma vez definidos os esforços atuantes sobre o navio devido às reações do fluido, à ação das ondas e às forças restauradoras dos cabos de amarração e ao amortecimento. Para esta situação a figura 9 a seguir, apresenta os tipos de movimentos.



**Figura 9: Movimentos dos Navios e Embarcações (Mason, 1982).**

Um corpo flutuante (navios, embarcações, flutuantes e etc.) é um sólido com seis graus de liberdade, três translações e três rotações. Se escolher um sistema de eixos ortogonais X,Y,Z, como o indicado na figura 9, teremos os seguintes movimentos:

- Eixo X, disposto ao longo do comprimento do navio, a translação é denominada de Deslocamento (Surge), a rotação em torno desse eixo é denominada de Balanço (Roll);
- Eixo Y, disposto num plano horizontal e transversal ao eixo dos X, a translação é denominada de Abatimento (Sway), a rotação em torno desse eixo é denominada de Caturro (Pitch);
- Eixo Z, disposto no plano vertical a translação, recebe o nome de Arfagem (Heave), e a rotação é chamada de Cabeceio (Yaw).

Nessa definição está incluída a terminologia em língua inglesa, tendo em vista o seu amplo uso na literatura e na prática.

Na elaboração do projeto é interessante conhecer, pelo menos a ordem de grandeza de alguns destes movimentos. Para poder fixar certos parâmetros de

projeto, tais como, a profundidade abaixo da quilha do navio e o gabarito dos equipamentos portuários. Além disso, alguns movimentos têm implicações importantes nos dispositivos de fixação dos navios.

A relevância dos conhecimentos dos movimentos é necessária para a estabilidade estática dos navios, embarcações, corpos flutuantes e no dimensionamento das estruturas.

A tabela a seguir apresenta os critérios internacionais recomendados para a segurança operacional das embarcações atracadas. Caso alguns destes limites sejam suplantados é recomendável suspender a movimentação de carga.

**Tabela 6: Movimentação recomendada para segurança operacional dos navios nos cais segundo (ALFREDINI, 2005).**

TIPO DE NAVIO	EQUIPAMENTO DE MOVIMENTAÇÃO DE CARGA	ARFAGEM (m)	DESLOCAMENTO (m)	ABATIMENTO (m)	CABECEIO (°)	CATURRO (°)	BALANÇO (°)
BARCOS PESQUEIROS	GUINDASTE MONTA-CARGAS	0,15	0,15	0,4	3	3	3
	DESCARGA VERTICAL	1	1	0,4	3	3	3
	BOMBA ASPIRADORA	2	1	0,4	3	3	3
CABOTAGEM COM NAVIO CARREGADO	EQUIPAMENTO EMBARCADO	1	1,2	0,6	1	1	2
	GUINDASTE DE CAIS	1	1,2	0,8	2	1	3
FERRIES E NAVIOS RO-RO	RAMPA LATERAL	0,6	0,6	0,6	1	1	2
	RAMPA DE TEMPESTADE	0,8	0,6	0,8	1	1	4
	PASSARELA	0,4	0,6	0,8	3	2	4
	RAMPA FERROVIARIA	0,3	0,1	0,4	-	1	1
CARGA GERAL		2	1,5	1	3	2	5
PORTA CONTÊINERES	RENDIMENTO 100%	1	0,6	0,8	1	1	3
	RENDIMENTO 50%	2	1,2	1,2	1,5	2	6
GRANELEIROS	GUINDASTE MONTA-CARGAS	2	1	1	2	2	6
PETROLEIROS	BRAÇO DE MOVIMENTAÇÃO	3	3	-	-	-	-
METANEIROS	BRAÇO DE MOVIMENTAÇÃO	2	2	-	2	2	2

### 3.2.3. FORÇAS DEVIDO AOS VENTOS E ÀS CORRENTES SOBRE OS NAVIOS

Uma estimativa das forças produzidas pelas correntes marítimas ou fluviais sobre as embarcações atracadas constitui importante subsídio para avaliação dos esforços nas estruturas de amarração das obras acostáveis.

Aos esforços devido aos ventos e correntes, somam-se os esforços nas estruturas de amarração produzidos pelos movimentos do mar e ondas, que são da natureza dinâmica e de difícil avaliação prática. Neste item serão relatados alguns critérios que permitem a fixação dos esforços para o dimensionamento dos diversos componentes do sistema de amarração da forma mais segura.

Serão apresentadas algumas fórmulas e regras práticas para a avaliação das forças devido aos ventos e correntes, baseados em conceitos da Hidrodinâmica clássica e critérios estáticos.

Conforme é conhecida da mecânica dos Fluidos, a força global exercida por um fluido em movimento sobre um obstáculo é dada pela fórmula:

$$F = K \times \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 \times A \quad (2),$$

Onde:

- $\rho$  = densidade do fluido;
- $v$  = velocidade de escoamento do fluido;
- $A$  = área exposta do obstáculo, normalmente à direção do escoamento;
- $k$  = coeficiente de forma.

Com as devidas adaptações, a formulação acima pode ser aplicada à avaliação das forças de vento e das correntes sobre os navios.

#### 3.2.3.1. FORÇAS DEVIDO AO VENTO

No caso de vento,  $\rho$  é a densidade do ar dada por  $\rho = \gamma/g$  (adotando-se  $\gamma =$  peso específico do ar =  $1,225\text{kgf/m}^3$ ;  $g = 9,81\text{m/s}^2$ ), tem-se  $\rho = 1,225/9,81 \cong 1/8$ , nas unidades fundamentais acima.

Substituindo na fórmula (2), temos,

$$F = k_v \times \frac{1}{16} \times v^2 \times A_v \quad (3),$$

(  $v$  em  $\text{m/s}$ ;  $A_v$  em  $\text{m}^2$ ;  $F_v$  em  $\text{kgf}$ ). O valor de  $k_v$  é normalmente tomado igual a 1,2. A área  $A_v$  a ser introduzida na formula acima é a área do navio ou embarcação exposta à ação do vento na respectiva direção. Considerando as indicações da figura 10 a seguir.

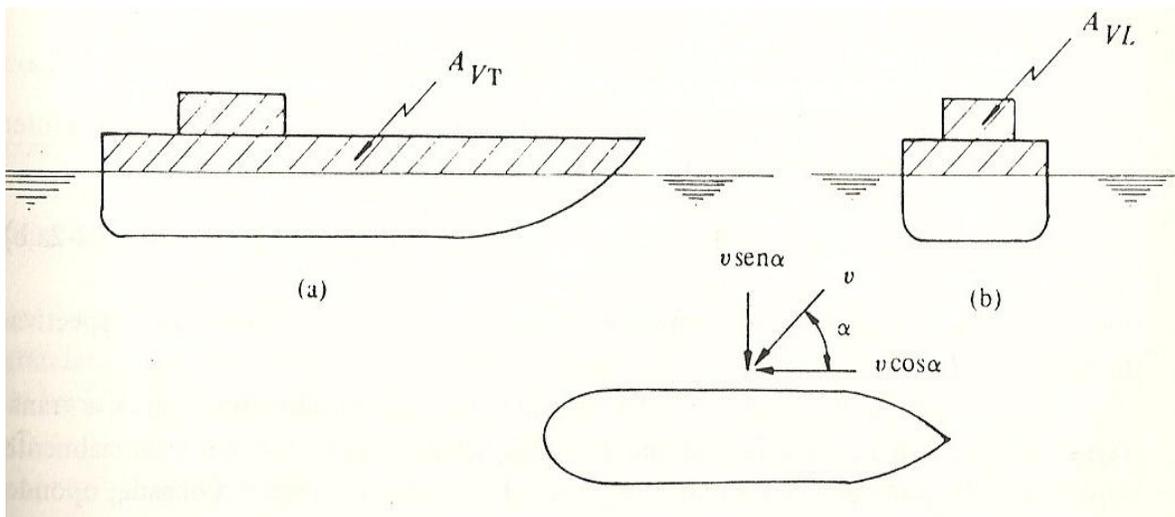


Figura 10: Ação do vento no Navio (Mason, 1982).

Após a definição das áreas (longitudinais e transversais) dos navios expostos ao vento, conforme exposto na figura 10, de modo que a formula (3) será desdobrada em

$$F_{vl} = k_v \times \frac{1}{16} \times v^2 \times A_{vl} \quad (4);$$

$$F_{vt} = k_v \times \frac{1}{16} \times v^2 \times A_{vt} \quad (5).$$

Evidentemente, em caso de incidência oblíqua do vento sobre o navio (figura 10), decompõe  $v$ , a velocidade do vento, em suas componentes, estimando as forças para cada uma delas em separado, de acordo com as equações (4) e (5).

### 3.2.3.2. FORÇAS DEVIDO ÀS CORRENTES

Para estimar as forças devido à ação das correntes marítimas, aplicamos novamente as equações (4) e (5), desta vez sendo  $\rho = \gamma/g$ , com  $\gamma=1034\text{kgf/m}^3$  (água do mar) e  $g = 9,81\text{m/s}^2$ , isto resulta em:

$$\frac{1}{2} \times \rho = \frac{1}{2} \times \frac{1034}{9,81} \cong 52,5, \text{ e } F_c = k_c \times 52,5 \times v^2 \times A_c \quad (6)$$

(v em m/s e  $A_c$  em  $\text{m}^2$ ), sendo  $k_c$  um coeficiente de forma.

Levando em conta as áreas de incidência transversal e longitudinal das correntes a fórmula (6) será desdobrada em:

$$F_{cl} = k_{cl} \times 52,5 \times v_{cl}^2 \times A_{cl} \quad (7);$$

$$F_{ct} = k_{ct} \times 52,5 \times v_{ct}^2 \times A_{ct} \quad (8).$$

Nas quais  $k_{cl}$  e  $k_{ct}$  são coeficientes de forma longitudinal e transversal, respectivamente. A figura 11 mostra a área de incidência.

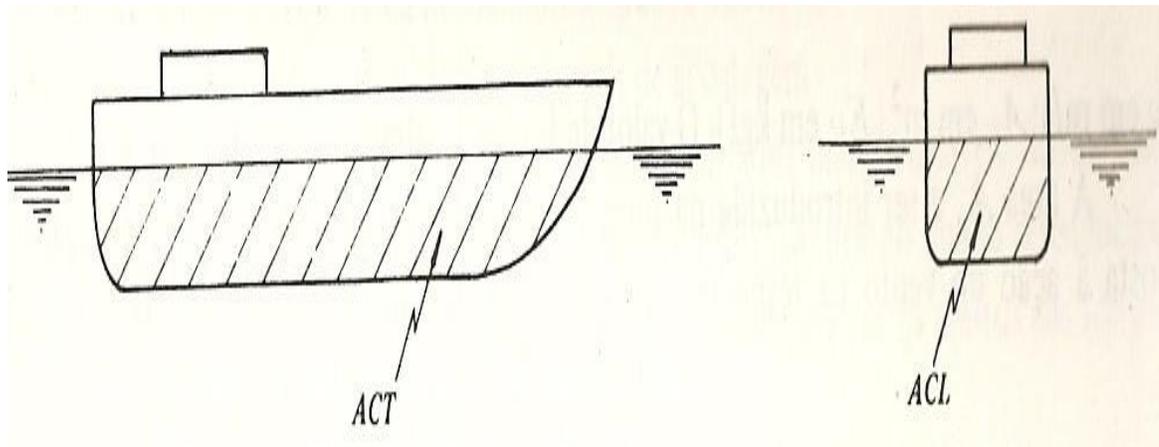


Figura 11: Área de incidência das correntes (Mason, 1982).

É usual adotar coeficientes de forma diferentes nos sentidos longitudinais e transversais, levando em conta o fato de que as condições Hidrodinâmicas são essencialmente diferentes em cada caso. No sentido longitudinal, a forma do

casco é alongada, opondo menor resistência ao fluxo das correntes do que no caso do fluxo transversal ao navio.

A profundidade da bacia de atracação também terá acentuada influência no valor dos coeficientes de forma. As formulas propostas para os coeficientes de forma são:

$$k_{cl} = 1 + \frac{D}{H} \quad (9)$$

$$k_{ct} = 1 + \left(1 + \frac{D}{H}\right)^3 \quad (10).$$

Nas quais D é o calado do navio e H, a profundidade da bacia. Para  $k_{ct}$ , quando a situação for ser  $D \ll H$  podemos usar opcionalmente a fórmula:

$$k_{ct} = 1,57 \times \left(\frac{H}{H-D}\right)^2 \quad (11),$$

baseada num modelo de orifício hidráulico afogado, devendo.

### 3.2.4. VELOCIDADES RECOMENDADAS DE ATRACAÇÃO

As recomendações internacionais recomendam velocidades de atracação de projeto da ordem de 30cm/s com ângulos de variando entre 10° a 15°. A tabela 7 fornece dados específicos deste valor em função das condições de vento e da facilidade de aproximação.

**Tabela 7: Velocidades recomendadas de Atracação para Grandes Navios em Função das Condições de Vento e Proteção da Bacia (Mason, 1982).**

CONDIÇÕES DE VENTO	CONDIÇÕES DE APROXIMAÇÃO (PROTEÇÃO DA BACIA PORTUÁRIA)	VELOCIDADE NORMAL AO CAIS (m/s)
FORTE	DIFÍCEIS	0,40
FORTE	FAVORÁVEIS	0,30
MODERADO	MODERADAS	0,20
PROTEGIDO	DIFÍCEIS	0,15
PROTEGIDO	FAVORÁVEIS	0,10

As fórmulas para o cálculo da energia de impacto incluem a velocidade de acostamento dos navios, que deverá ser fixada, para fins de projeto.

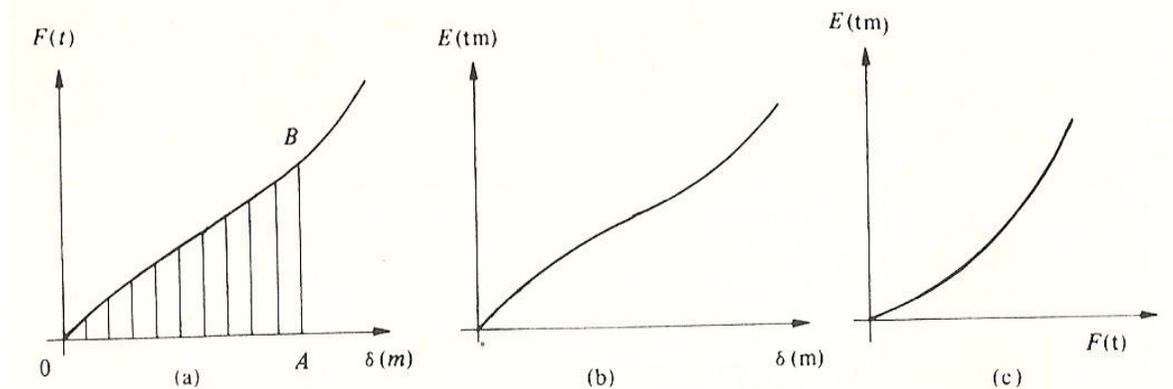
A tabela 7 mostra valores como ordem de grandeza, da velocidade de aproximação dos navios às obras acostáveis tem como limite a velocidade dos navios à deriva, isto é, quando flutuando livremente, sem ação das máquinas e impulsionados pelo vento.

A fixação da velocidade de atracação de projeto dependerá, em cada caso, de critérios objetivos e do nível de risco que os operadores estão dispostos a correr, em face das condições da obra.

### **3.2.5. ELEMENTOS DE ABSORÇÃO DE ENERGIA NAS ESTRUTURAS PORTUARIA**

Determinada a energia básica transmitida pelo navio à estrutura, resta escolher um sistema de defensas adequado a absorvê-las. Para a escolha e o dimensionamento da defesa, deverão ser levados em conta alguns aspectos. Entre os principais pode-se citar o diagrama de energia e o tipo de defensas.

A principal fonte de informação a respeito das defensas é o seu diagrama força-deslocamento, do qual pode-se também deduzir o diagrama da energia absorvida, quer em função da força, quer em função do deslocamento. A figura 12 a seguir mostra de forma esquematizada um diagrama força-deslocamento (F- $\delta$ ), energia-deslocamento (E- $\delta$ ) e energia-força (E-F).



**Figura 12: Esquema de um diagrama força-deslocamento (F-d) e energia-força (E-F) (Mason, 1982).**

É comum representá-los todos em um mesmo diagrama. Do primeiro deles, obtemos a energia absorvida até o deslocamento genérico indicado por A, através da integral

$$E = \int_0^A F d\delta \quad (13)$$

que é a área hachurada OAB, sendo o traçado dos demais diagramas imediato.

Se o diagrama carga-deslocamento for reto, isto é, a deformação proporcional à carga:

$$E = \frac{1}{2} \times F \times \delta \quad (14).$$

As defensas de modo geral podem ser agrupadas em várias categorias: elásticas, de gravidade e de tipos diversos.

As defensas elásticas operam com base na deformação do sistema, através da absorção de energia elástica. O princípio das defensas de gravidade consiste em usar a energia do choque para fazer subir o baricentro de um determinado peso.

Fora destas categorias, podemos encontrar tipos que tiram proveito de fenômenos diversos, tais como compressão do ar, flutuação de pontões, etc. Mas no presente trabalho serão detalhados os diversos tipos de defensas.

A escolha do tipo de defesa a empregar depende de considerações relativas à natureza da obra, além de das considerações de ordem econômica.

Tratando-se de uma obra em infraestrutura do tipo Píer (será descrita mais a diante), incapaz de resistir a grandes esforços horizontais é induzida à adoção de defensas elásticas de baixa constante de mola.

Como é observado na equação (14), pode-se absorver a energia, através de grande força aliada a um deslocamento pequeno ou vice-versa. Neste último caso, é adotada uma defesa que sofre grandes deformações, de modo a reduzir o módulo da força aplicada na estrutura.

Em casos de obras do tipo cais, capazes de resistir a grandes esforços horizontais, poderão adotar defensas elásticas de menor flexibilidade, em geral menos dispendiosas.

As defensas de gravidade são sempre elementos de grande peso e acarretam aumento de dimensões da estruturas, sendo assim, pouco usadas.

### **3.3. MÉTODOS CONSTRUTIVOS**

Neste tópico serão tratados os tipos de estruturas portuárias de acordo com o método construtivo e os seus respectivos métodos mais usuais de cálculo.

Antes de iniciar a descrição de cada elemento estrutural de um sistema portuário moderno, serão explicados dois conceitos básicos referente à duas estruturas bastante utilizadas nesse tipo de construção que são o Cais de paramento aberto e o Cais de paramento fechado.

Entende-se como Cais de paramento aberto à ausência de uma parede vertical na frente do mesmo e são representadas por estacas e plataformas suspensas.

As estruturas de paramento fechado mais conhecidas são com parede de estaca prancha ou estruturas de gravidade, sendo essas últimas conhecidas também como estruturas robustas ou maciças. Para as estruturas de gravidade destacam-se as paredes de blocos de concreto, caixões e paredes celulares.

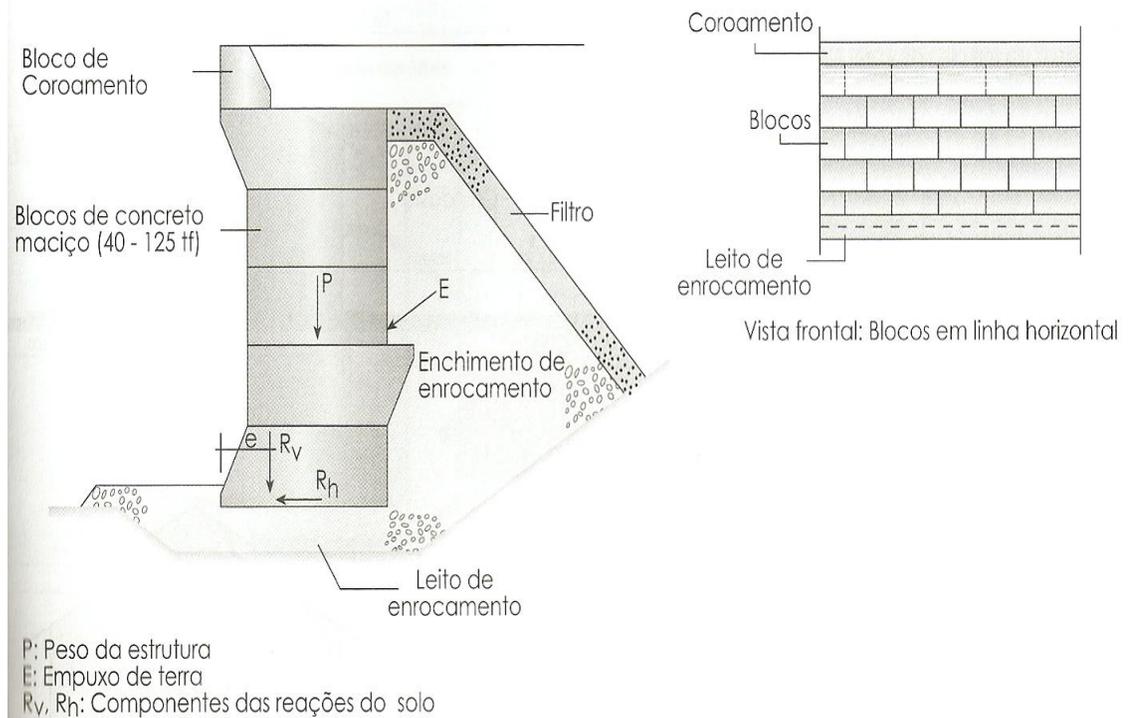
Diferenciar estes dois tipos estruturais, com paramento aberto e fechado, é bastante importante, não só por conta do suporte dos empuxos de solo, mas também por causa das ações das ondas que são diferentes em cada caso (ALFREDINI, 2005). A seguir, serão mais bem caracterizados esses tipos estruturais.

### **3.3.1. CAIS DE GRAVIDADE**

Os cais de gravidade são estruturas com o paramento fechado e que têm como princípio estático a utilização de elementos pesados, onde a estabilidade é assegurada por três variáveis. As variáveis são: o tombamento, deslizamento e afundamento no terreno.

Atualmente esta solução é em geral, considerada antieconômica por necessitar de grandes volumes de materiais, exige um bom tratamento de fundação e requer movimentação de materiais.

Outro fator bastante limitante é a altura, pois ele é recomendado para cais com paredes verticais de até 10m. Acima desse valor sua execução passa a ser bastante trabalhosa. A figura 13 a seguir mostra um cais de gravidade.



**Figura 13: Cais de gravidade (ALFREDINI, 2005).**

### 3.3.2. CAIS EM CORTINA DE ESTACA PRANCHA

Os cais em cortina de estacas prancha são estruturas de paramento fechado e têm como princípio estático o de se constituírem em estruturas leves. Frequentemente é a solução de menor custo e é aplicável em solos de baixa capacidade de carga, deixando qualquer empreendimento viável.

O cais de estaca prancha pode ser simplesmente engastado no solo, estaca atirantada ou com plataforma de alívio. A estaca prancha engastada no solo também é conhecida como Cantilever e é recomendável para alturas da parede vertical de até 10m.

A estaca atirantada é recomendada para paredes verticais com mais de 10m, a figura 14 mostra um esquema básico desse tipo de cais.

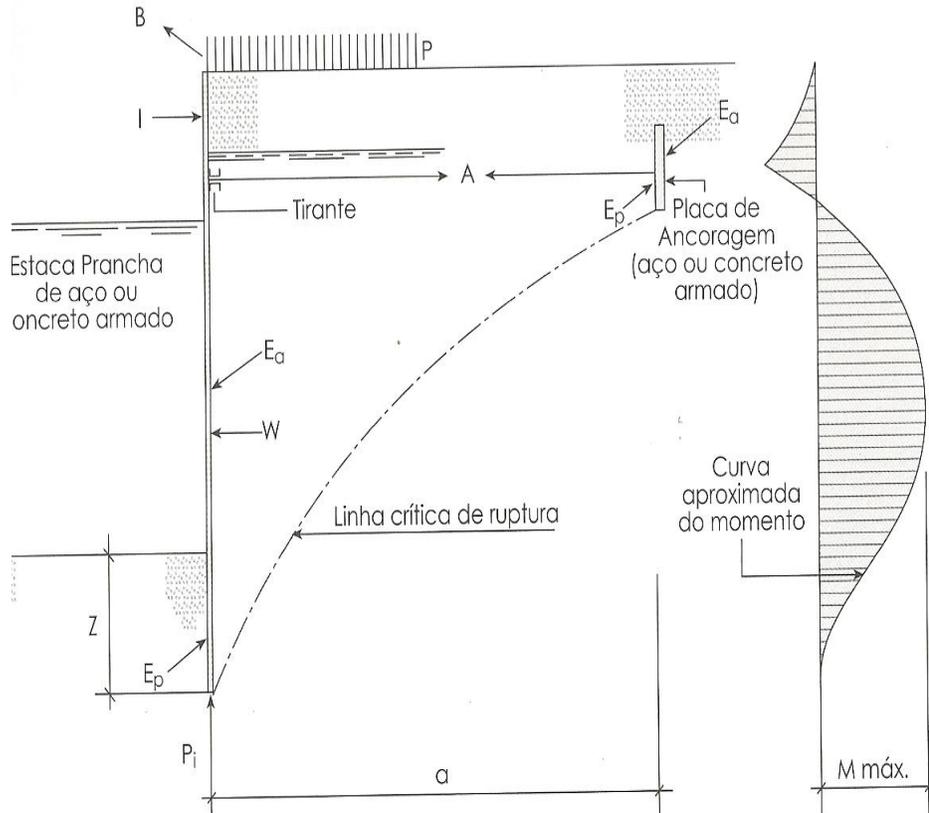


Figura 14: Cais de estaca prancha atirantada (ALFEDINI, 2005).

### 3.3.3. CAIS COM PLATAFORMA DE ALÍVIO

Essa estrutura também conhecida como cais dinamarquês é recomendável para portos com grandes sobrecargas, pois dessa forma há uma diminuição dos empuxos na parede vertical e o carregamento é transmitido diretamente ao solo através das estacas. A figura 15 mostra esse tipo de estrutura.

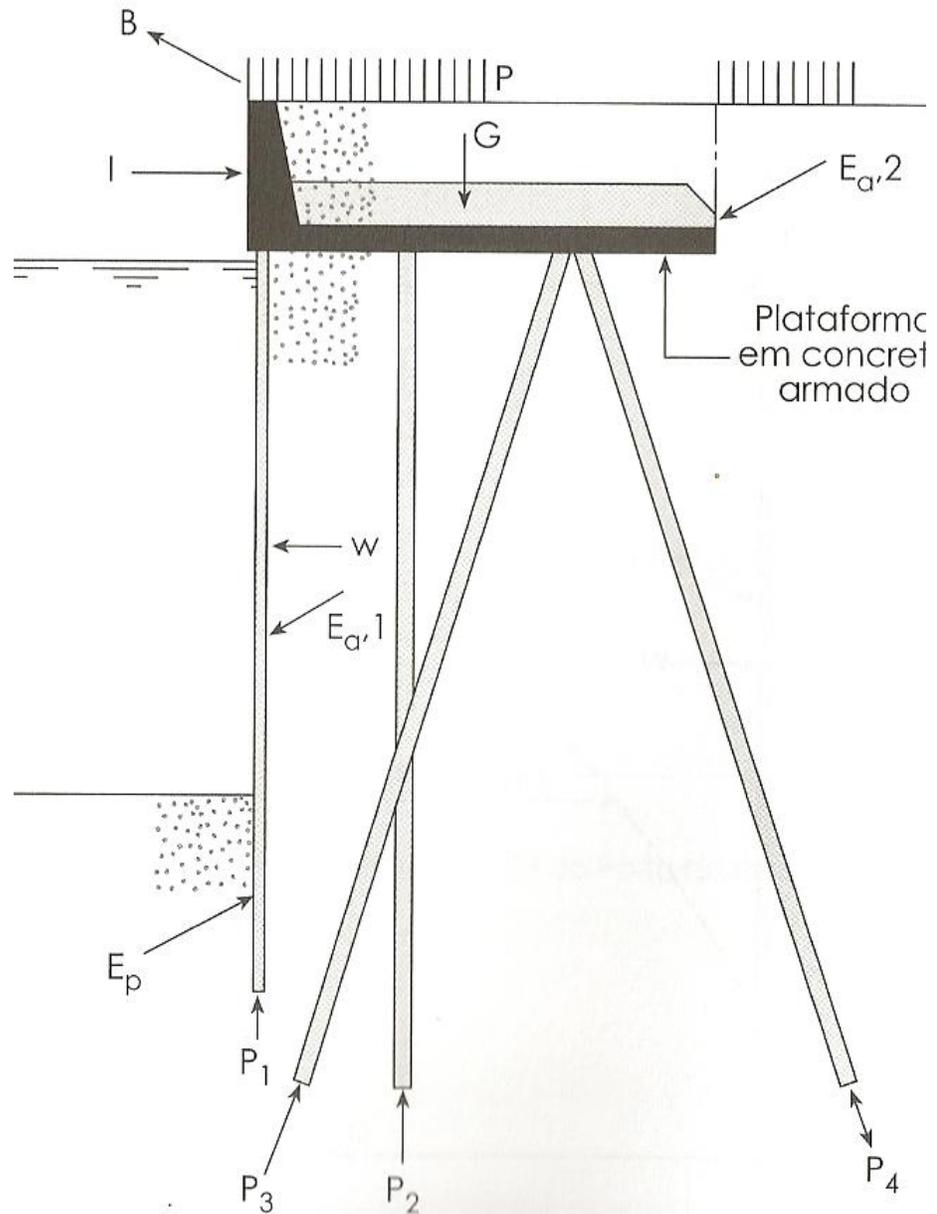


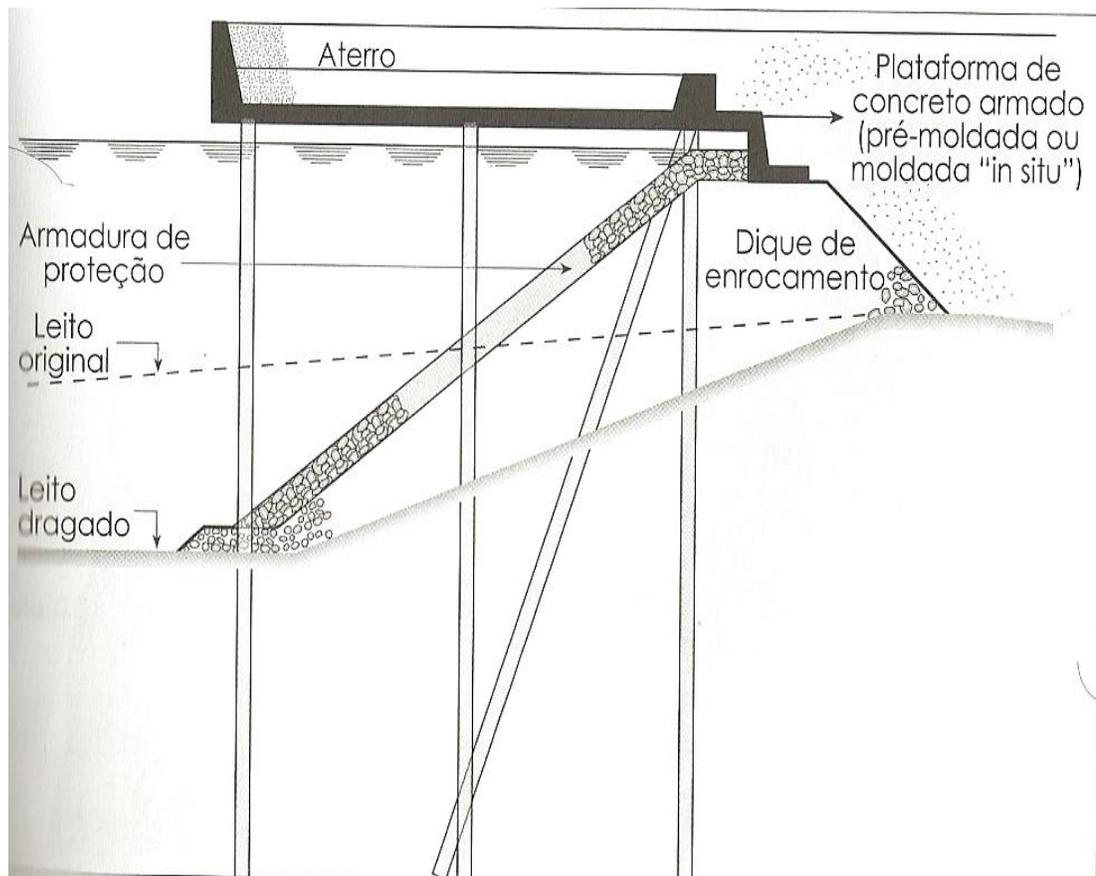
Figura 15: Cais com plataforma de Alívio (ALFEDINI, 2005).

### 3.3.4. CAIS DE PARAMENTO ABERTO

Os cais de paramento aberto têm como princípio estático o de se constituírem em estruturas leves, em que as cargas verticais são absorvidas pelas

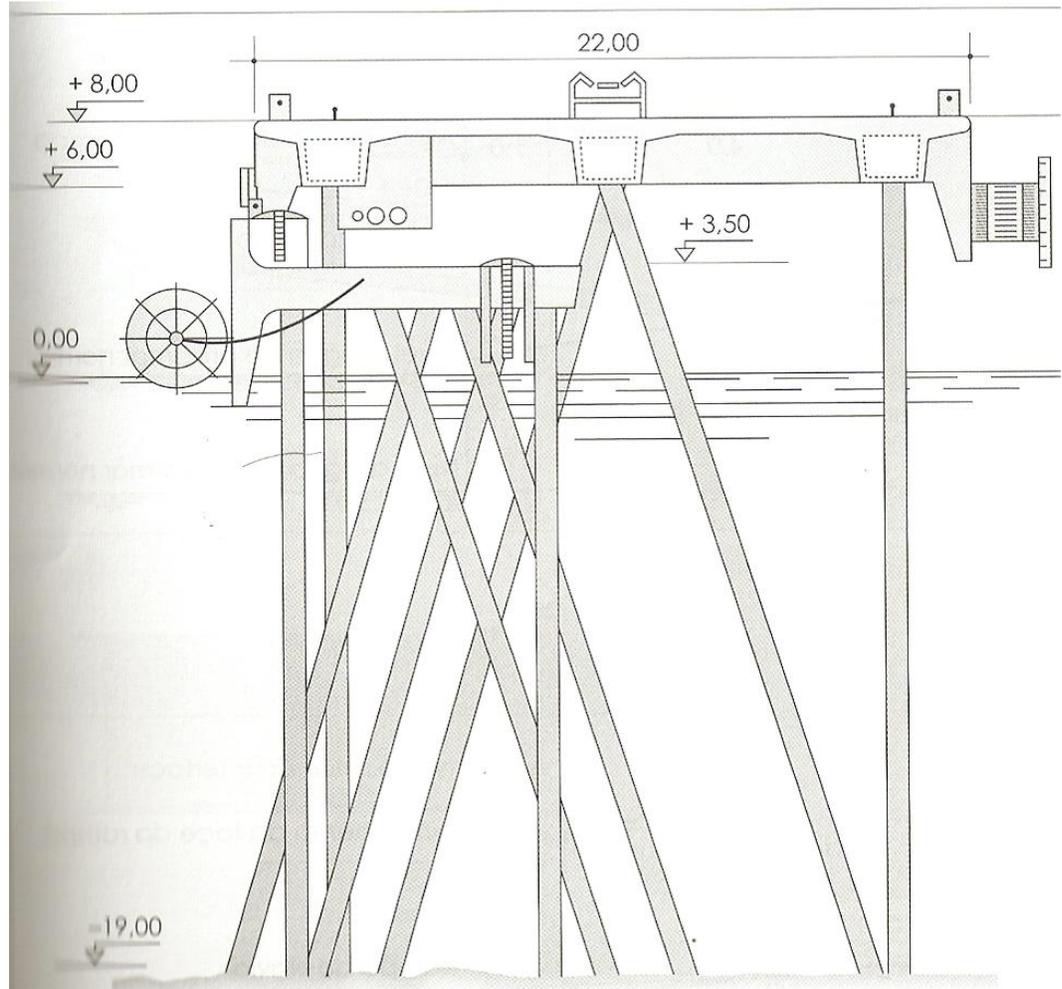
estacas verticais e as cargas horizontais são absorvidas por estacas inclinadas (ou tirantes) e pelo terrapleno.

Trata-se de estrutura largamente utilizada, com talude de enrocamento de declividade o mais íngreme possível e cortina frontal para as atracções. Na figura 16 estão representadas exemplos dessa solução.



**Figura 16: Cais de paramento aberto (ALFEDINI, 2005).**

Outra forma de cais de paramento aberto pode ser do tipo Píer. O Píer é uma estrutura portuária que avança sobre água de forma perpendicular, paralela ou oblíqua sobre a terra. A principal característica é que todo desenvolvimento se dá dentro d'água. O método construtivo é através de uma malha de estacas cravadas que tem o objetivo de resistir a todos os esforços que agem sobre a estrutura principal construída sobre elas, esse método é semelhante ao método de pilotis.



**Figura 17: Cais do tipo Píer (ALFEDINI, 2005).**

A importância do conhecimento dos tipos de estruturas portuárias, como foi relatado nesse item, deve-se a necessidade dos sistemas portuários de hoje em dia terem elementos estruturais ao longo da linha de atracação, que possam servir como plataforma de desembarque dos elementos transportados ou local de espera, e que as estruturas naturais do local ou do tipo de porto não fornecem as características de funcionalidade, técnica e de economia.

Ao avaliar cada problema para a construção de um terminal portuário a solução compatível com os requisitos exigidos, poderá ser uma das estruturas mencionadas ou combinações delas, de forma, a atender todos os requisitos de um porto eficiente e moderno.

### 3.4. EMPUXOS DE TERRAS

Entende-se por empuxo de terra a ação produzida pelo maciço terroso sobre as obras em contato. Com ele a determinação do seu valor é fundamental na análise de obras como muros de arrimo, cortinas de estacas-pranchas, etc.

Nas obras portuárias os empuxos de terra costumam ocorrer na parede vertical frontal no cais de paramento fechado. Outra forma é na parede traseira vertical, no caso de cais com paramento aberto, essa parede traseira de contenção pode estar ligada à estrutura do cais ou possuir uma estrutura independente do cais. Há ainda o caso do empuxo sobrecarregar a estaca, ocorrendo apenas em solos moles (Efeito Tshebotoarioff).

O empuxo de terra atuante na parede vertical provocará deslocamentos horizontais na parede alterando seu valor e sua distribuição. No caso de empuxo de água essa variação em função do deslocamento não ocorre, pois o solo encontra-se no estado hidrostático de pressão. No entanto, o peso específico do solo que está sob o nível d'água deve ser considerado submerso.

Quando a solicitação do solo na estrutura ceder uma certa quantidade que depende de suas características estruturais, denomina-se Empuxo Ativo ( $E_a$ ). Ao contrario, quando a estrutura é que avança contra o terrapleno, tem-se o chamado Empuxo Passivo ( $E_p$ ). As pressões correspondentes chamam-se ativa e passiva e os coeficientes, ativo ( $K_a$ ) e passivo ( $K_p$ ), respectivamente.

Pode-se dizer que o estado ativo é aquele que corresponde a uma distensão do solo e o estado passivo o que corresponde a uma compressão (H.P. CAPUTO, 1976).

Admitindo-se o solo como homogêneo, as expressões para os empuxos são:

- $E_a = \frac{1}{2} \times K_a \times \gamma \times h^2$  **(15)**  $\Rightarrow$  para solos sem coesão;

- $E_a = \frac{1}{2} \times K_a \times \gamma \times h^2 - 2 \times C \times h \times \sqrt{K_a}$  **(16)**  $\Rightarrow$  para solos com coesão;

- $E_p = \frac{1}{2} \times K_p \times \gamma \times h^2$  (17)  $\Rightarrow$  para solos sem coesão;

- $E_p = \frac{1}{2} \times K_p \times \gamma \times h^2 - 2 \times C \times h \times \sqrt{K_p}$  (18)  $\Rightarrow$  para solos com coesão;

Onde:

$K_a$ = coeficiente de empuxo ativo;

$K_p$ = coeficiente de empuxo passivo;

$\gamma$ = peso específico do solo;

$C$ = coesão do solo;

$h$ = altura da camada de solo correspondente ao empuxo.

Para obtenção dos valores  $K_a$  e  $K_p$  poderá utilizar a teoria de Rankine que diz:

$$K_a = \operatorname{tg}^2\left(45 - \frac{\delta}{2}\right) \quad (19)$$

$$K_p = \operatorname{tg}^2\left(45 + \frac{\delta}{2}\right) \quad (20).$$

Onde  $\delta$  é o ângulo de atrito do solo.

### 3.5. MÉTODOS DE CÁLCULO

Nesse item serão mostrados os principais métodos de cálculo das estruturas mencionada no tópico 3.3. De modo geral as ações derivam principalmente, das pressões do solo, dos navios, das ondas do mar, das intempéries do meio ambiente, das operações de embarque e desembarque de mercadorias e pessoas, equipamentos em operação, a ação de peso próprio, etc.

### 3.5.1.CORTINAS DE ESTACAS-PRANCHAS

Para o cálculo das cortinas será admitido a distribuição hidrostática das pressões ativas e passivas, tal como preveem as teorias clássicas de empuxo de terra mencionadas no item 3.4. Considerando nulo o ângulo de atrito entre o solo e a cortina e será negligenciado a sua flexibilidade. Essas hipóteses simplificadoras conduzirão evidentemente a valores aproximados.

Os elementos fundamentais a serem determinados são: comprimento de ficha, esforço no tirante (quando houver) e momento fletor máximo. Com esses valores, escolhe-se o “perfil”, dimensionam-se o tirante, a viga de coroamento da cortina e a ancoragem (bloco, muro ou placa).

Para pequenas alturas, podem ser empregadas cortinas sem ancoragem, neste caso, o modelo proposto prevê a rotação da cortinas em torno de um ponto  $O$  e o sistema de forças atuantes está indicado na figura 18. Para simplificar os cálculos admite-se que a linha de ação de  $E_{p2}$  coincida com o ponto  $O$  (figura 18c).

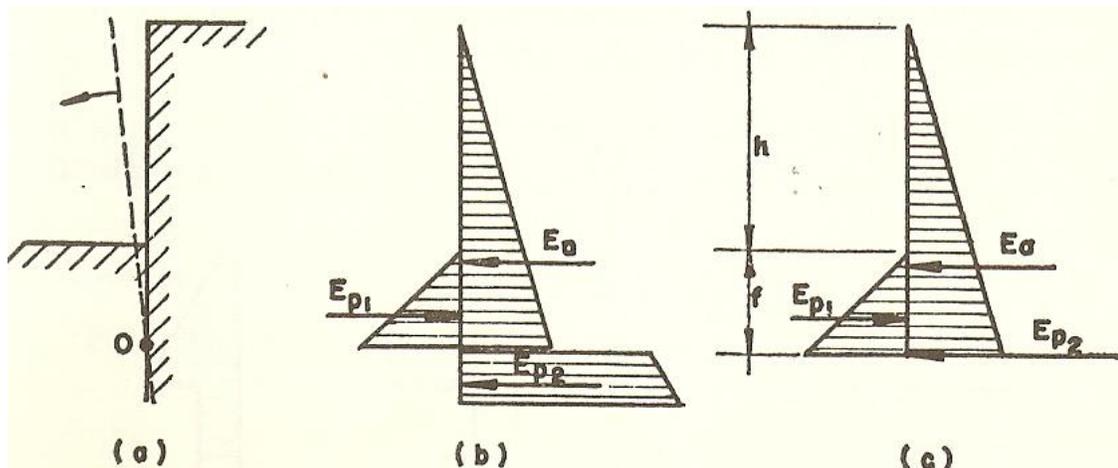


Figura 18: Empuxo no cais de estaca prancha (CAPUTO, 1976).

Se considerar o solo não coesivo ( $c=0$ ) e de peso específico  $\gamma$ , tomando-se os momentos das forças em relação ao ponto de aplicação de  $E_{p2}$ , e sendo  $f$  o valor do comprimento de ficha tem-se:

$$\frac{1}{2} \times \gamma \times K_p \times \frac{f^3}{3} = \frac{1}{2} \times \gamma \times K_a \times \frac{(h+f)^2}{3} \quad (21),$$

Que é uma equação de 3º grau a sua resolução permite o cálculo do comprimento teórico da ficha. Para minimizar os efeitos das hipóteses simplificadoras e a favor da segurança recomenda-se acrescentar este valor em 20%.

### 3.5.2. CORTINAS DE ESTACAS-PRANCHAS ATIRANTADAS

O emprego da ancoragem reduz consideravelmente a ficha da cortina. Neste caso, a estaca flexiona-se como indicado na figura 19 e o cálculo se reduz a um simples problema de Estática, pois considera um sistema isostático. O sistema de forças para um solo não coesivo, incluindo o esforço  $A$  no tirante, também é apresentado na figura 19, tem-se, assim:

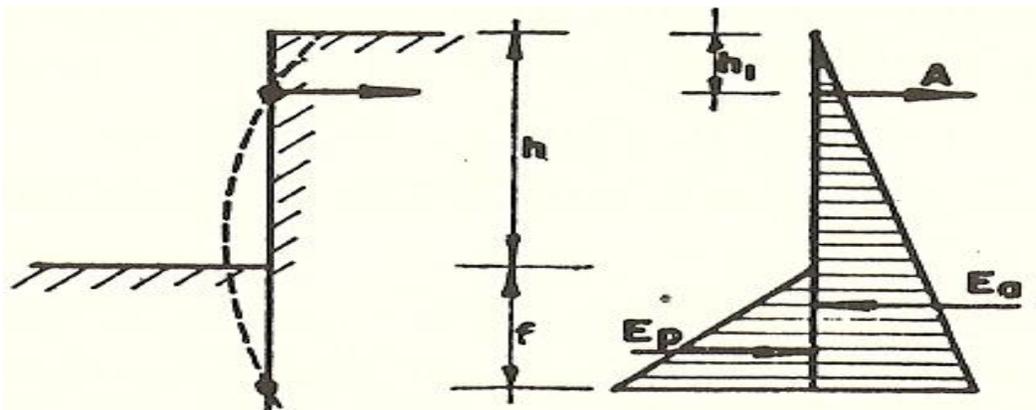


Figura 19: Empuxo na cais atirantada (CAPUTO, 1976).

$$\begin{cases} A + \frac{E_p}{n} - E_a = 0 & (22) \\ \frac{E_p}{n} \times \left[ \frac{2}{3} \times f + (h - h_1) \right] = E_a \times \left[ \frac{2}{3} \times (h + f) - h_1 \right] & (23). \end{cases}$$

Com  $n$  sendo um coeficiente de segurança usualmente admitido igual a 2, considerando-se apenas uma parcela do empuxo passivo, pois que para a sua completa mobilização, seria necessário uma grande deformação. Os momentos foram tomados em relação ao ponto de aplicação de  $A$ .

Por outro lado, notando que  $E_a$  e  $E_p$  são dados por:

$$E_a = \frac{1}{2} \times K_a \times \gamma \times (h + f)^2 \quad (24)$$

$$E_p = \frac{1}{2} \times K_p \times \gamma \times f^2 \quad (25),$$

o sistema formado pelas equações (22) e (23) permitirá calcular as incógnitas  $f$  e  $A$ . Semelhantemente ao caso sem tirante ao obter o valor de  $f$  é aconselhável acrescê-lo em mais de 20% .

Essa metodologia pode ser utilizada em solos compressíveis (argilas), podendo-se considerar os apoios no solo como molas elásticas de comportamento linear conforme a resistência dos materiais.

Conhecidos o comprimento de ficha e o esforço no tirante, será determinado o valor do momento fletor máximo  $M$ . Com esse valor e fixando-se uma taxa de trabalho  $\sigma$  do aço de acordo com a NBR8800/08, recorre-se a um manual ou catálogo especializado, para a escolha do tipo de perfil mais viável tecnicamente e financeiramente à obra em questão.

### 3.5.2.1 ANCORAGEM

Nas cortinas de estacas-pranchas atirantada, o esforço  $A$  no tirante é resistido por um dos seguintes tipos de ancoragem:

- Blocos sobre estacas inclinadas, onde uma das estacas trabalha a tração e a outra a compressão e o valor de cada um dos esforços pode ser tirado do polígono de forças. A figura 20 mostra um exemplo.

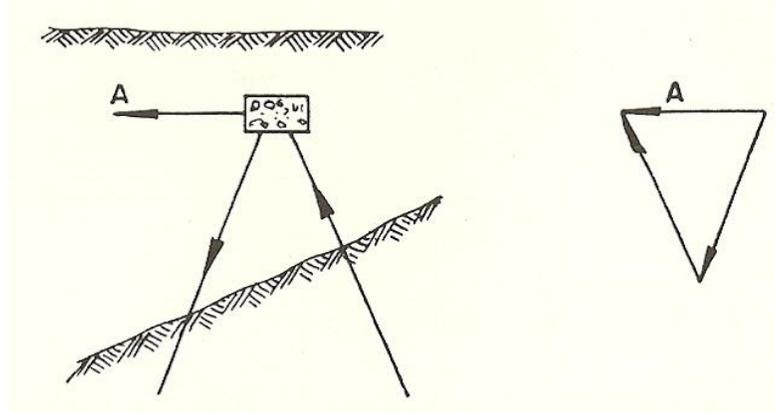


Figura 20: Bloco de ancoragem de tirantes (CAPUTO, 1976).

- Muros e placas de ancoragem. Os muros são peças contínuas, e as placas são isoladas e espaçadas. Em qualquer dos casos, o dimensionamento deve ser tal que a resistência passiva por elas mobilizada seja consideravelmente maior que o esforço no tirante.

Para muros de ancoragem que alcançam o nível do terreno ou tais que a altura  $h_1 > h/2$  (onde  $h_1$  e  $h$  estão indicados na figura 19) o esforço no tirante  $A$  deve satisfazer a condição:

$$A = \frac{1}{s} \times (P_p - P_a) \quad (26),$$

onde  $s$  é um coeficiente de segurança,  $P_p$  o empuxo passivo e  $P_a$  o empuxo ativo que se desenvolve do outro lado da ancoragem.

Para que a ancoragem cumpra sua função, que é a de fixar a cortina, ela deve ser colocada a uma distância tal que fique fora da zona provável de ruptura do terrapleno.

### 3.5.3. MUROS DE GRAVIDADE

Essas estruturas possuem uma capacidade de carga muito grande, por causa da sua massa específica ser bastante elevada, dessa forma, são verificadas as seguintes condições de estabilidade:

- Tombamento – Esta verificação inclui os esforços de empuxo, carga vertical no terreno entre outras que tenderão a rotacionar o muro em torno de um ponto que fica na extremidade a jusante do muro.
- Deslizamento- A verificação da resistência ao deslizamento do muro em contato com o solo.
- Afundamento- A verificação da capacidade de carga do terreno com o peso do muro.

#### **3.5.4.CAIS DE PARAMENTO ABERTO**

Esse tipo de obra portuária pode ser calculado como estruturas discretas sobre pilares. Pode-se usar um procedimento semelhante ao da elaboração de projetos de pontes e outras obras de arte especiais.

As estruturas de cais de paramento aberto são compostas por vigas, e são formadas por elementos verticais (estacas) e horizontais (vigas e lajes) ligados monoliticamente. A análise da estrutura espacial, embora possível, ainda é complexa e requer programas computacionais que nem sempre o projetista tem a disposição. Desta mesma metodologia, pode-se dimensionar os dolphins.

## **CAPÍTULO 4**

### **RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS**

Esse capítulo foi baseado em uma recomendação técnica pertencente a antiga PORTOBRAS, que foi extinta pela sua ineficiência operacional, mas deixou um legado com várias recomendações técnicas que são bastante eficientes na elaboração de projetos de estruturas portuárias.

As normas técnicas indicam vários parâmetros a serem adotados na elaboração de projetos. As variáveis levam em conta o vento, as correntes marítimas, a tração nos cabeços e as sobrecargas verticais.

#### **4.1 AMARRAÇÃO DOS NAVIOS**

Os navios são amarrados ao cais pelos cabos (corda, corrente, espia e etc) de modo a garantir plenamente a operação de carga e descarga.

Nestas condições são submetidas ao efeito do vento sobre a superestrutura, e da corrente em sua parte submersa, induzindo esforços sobre o cais. Ademais, a consideração das variações de nível como ondas e marés também causam solicitação nas estruturas marítimas pelas variações de tensão nas amarrações.

#### **4.2. VENTO**

As forças atuantes sobre o navio submetido ao vento devem ser consideradas no projeto da estrutura marítima, ora causando a tração na amarração, e ora compressão nas defensas.

A velocidade do vento a ser considerada será aquela obtida na campanha de medições para implantação da obra portuária, para sua intensidade e direção. Os valores máximos de rajadas poderão ser reduzidos em 10%. Em nenhum caso porém, será admitido velocidades para o vento menores que 20m/s (40 nós).

Para o caso de ação esconsa do vento em relação ao cais, deverão ser levadas em consideração as componentes longitudinais e transversais, as quais poderão ser calculadas utilizando-se os coeficientes de carga e de excentricidade conforme o caso.

### **4.3. CORRENTES MARÍTIMAS**

As solicitações decorrentes da ação das correntes sobre os navios atracados e a estrutura, levaram em consideração a velocidade das correntes, área de incidência e coeficientes de forma.

### **4.4. TRAÇÃO NOS CABEÇOS**

A tração exercida pela ação do vento e das correntes marítimas sobre os navios se transmite às estruturas pelas amarras. Estas devem ser calculadas levando em consideração os tipos de amarras (aço, manilha, nylon, polipropileno, etc.), seu comprimento, sua seção transversal, bem como o ângulo de inclinação tanto no plano horizontal como no vertical.

Em nenhum caso, poderão as trações nos cabeços a considerar no cálculo e dimensionamento das estruturas marítimas, serem inferiores às da tabela 8.

**Tabela 8: Esforços nos Cabeços de acordo com a carga transportada (PORTOBRAS).**

CAPACIDADE DW (TPB)	DESLOCAMENTO W (KN)	TRAÇÃO NO CABEÇOS (KN)
ATÉ 1000	ATÉ 20000	100
ATÉ 5000	ATÉ 100000	300
ATÉ 10000	ATÉ 200000	600
ATÉ 25000	ATÉ 500000	800
-	ATÉ 1000000	1000
-	ATÉ 2000000	1500
-	> 2000000	2000

#### 4.5. SOBRECARGAS VERTICAIS

As sobrecargas verticais atuantes nos terraplenos, plataformas ou outros elementos de obras portuárias, dependem do tipo e função da obra. A avaliação destas cargas deverá ser feita em cada caso, de acordo com o tipo de materiais a serem estocados e manuseados na obra bem como da forma de sua distribuição.

Para os cálculos de estabilidade as obras e dimensionamento dos seus elementos estruturais, as cargas atuantes poderão ser consideradas como distribuídas e serão avaliadas a partir dos materiais e cargas estocadas ou manuseadas.

Nos casos de cargas de pequenas dimensões e pesos elevados, deverá ser levada em conta como ação concentrada. As cargas distribuídas ou concentradas ou suas combinações deverão ser aplicadas nas posições capazes de produzir os efeitos mais desfavoráveis.

Independentemente de qualquer avaliação direta ou indireta, não poderão ser adotados nos projetos de obras portuárias carregamentos inferiores aos seguintes valores da tabela 9.

**Tabela 9: Sobrecargas recomendadas para projetos (PORTOBRAS)**

TIPO DE OBRA	SOBRECARGA KN/m <sup>2</sup>
CAIS OU PIER PARA CARGA GERAL COMERCIAL E CONTEINERES (1ª CLASSE)	50 A 60
CAIS OU PIER PARA CARGA GERAL, 2ª CLASSE	DE 30 A 35
CAIS OU PIER PARA CARGA GERAL, 3ª CLASSE	DE 20 A 25
CAIS OU PIER PARA GRANEL CONFORME A FINALIDADE	DE 30 A 60
CAIS OU PIER PARA PRODUTOS SIDERÚRGICOS	DE 100 A 120
CAIS OU PIER MILITAR	DE 60 A 70
PONTE DE ACESSO	10 A 20
PONTE DE ATRACAÇÃO	20
PASSARELA	4 A 6
PLATAFORMAS FIXAS OU FLUTUANTES SEM SOBRECARGAS MÓVEL DEFINIDA	10 A 20
ÁREAS DE ESTOQUE DE MINÉRIOS	DE 100 A 150

## CAPÍTULO 5

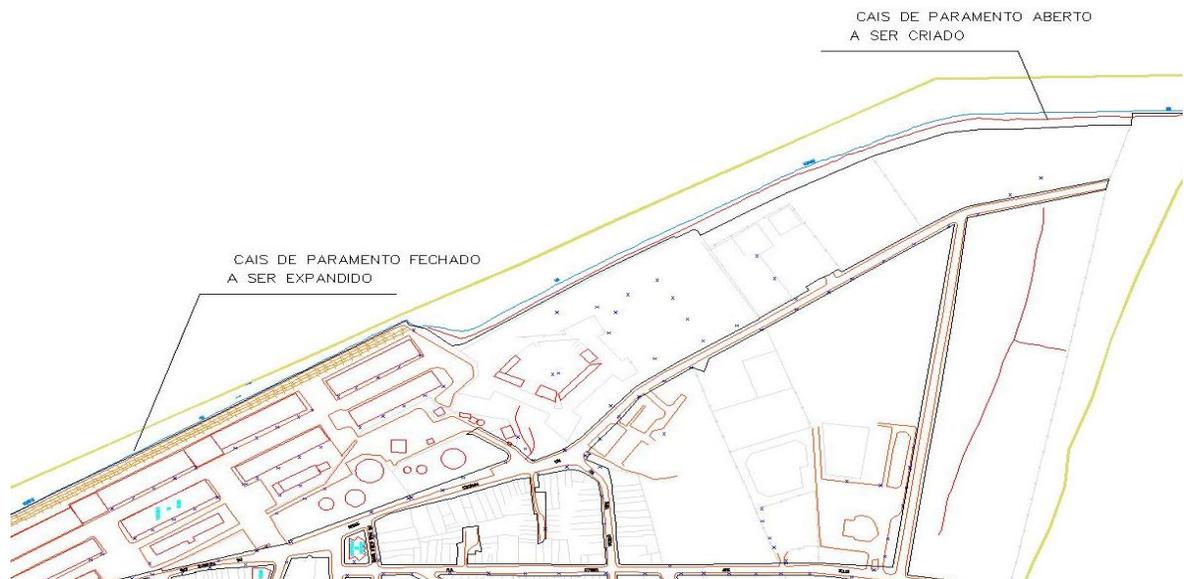
### ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será desenvolvido um anteprojeto de expansão de um porto. Onde serão elaborados dois tipos de estruturas que foram bastante mencionado e descrito nesse trabalho. O objetivo do capítulo é apresentar as dimensões e a forma da estrutura devido às solicitações previstas na vida útil do projeto após a conclusão da construção.

#### 5.1. DESCRIÇÃO DO LOCAL E DAS ESTRUTURAS

As estruturas a serem projetadas são um cais de paramento aberto o qual será chamado de TMU (Terminal de Múltiplos Usos) e um cais de paramento fechado onde será chamado de cais de granéis sólidos.

A figura 21 a seguir mostra o local de estudo do projeto onde serão implantados os elementos mencionados.



**Figura 21: Local de estudo do projeto.**

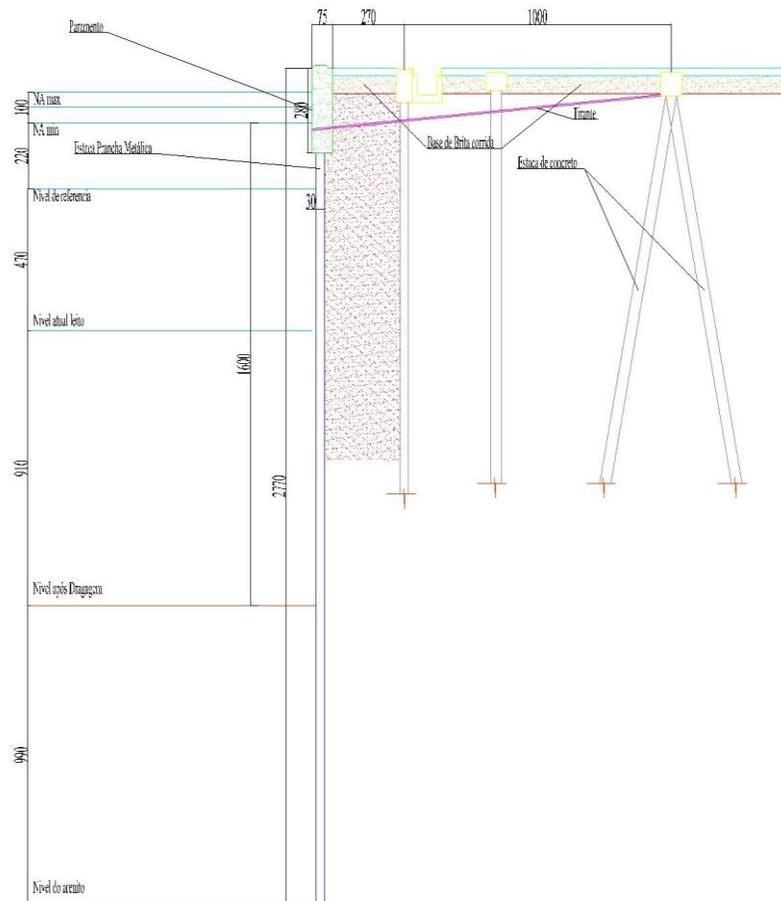
Nos cais de granéis sólidos é prevista a ancoragem de navios graneleiros do tipo 100000DWT e bem como guindastes do tipo SHIPLOADER. O guindaste é uma ponte rolante com uma bomba pneumática utilizada para a carga e descarga. Esses equipamentos requerem trilhos espaçados de 10m.

Os navios graneleiros necessitam de um calado máximo de 15,2m. O terminal terá uma folga de um metro na profundidade quando estiver na maré mínima para que as atividades de atracação, carga e descarga não sofram interferência da variação do nível d'água. Dessa forma o leito do mar deve ter mais de 16m de profundidade.

Para a construção desse cais está previsto a utilização de estaca prancha metálica do tipo HZ/AZ. Como a parede vertical é maior que 10m serão utilizados tirantes para auxiliar nos esforços resistentes. Além disso, como o solo do nível do terreno possui baixa capacidade de carga será utilizado um bloco de ancoragem do tirante.

Na extremidade superior do cais será necessária a execução de uma viga de coroamento com o objetivo de aumentar a rigidez no topo da estaca, para servir de local de ancoragem do tirante e resistir aos esforços verticais e horizontais devido à ação do navio.

O cais de granel está previsto para ter um comprimento de 700 metros, mas já existem 400m de cais construídos. Esse projeto dimensionará o comprimento restante. Como a estaca prancha terá uma largura média de 1,5m à estimativa dos esforços será para essa faixa e adotando o mesmo perfil para toda a estrutura. A figura 22 mostra um corte típico da seção transversal.



**Figura 22: Seção transversal do Cais de granéis sólidos.**

No terminal de múltiplos usos estão previstos a docagem de navios de carga geral do tipo 30000DWT e dois guindastes do tipo portêiner.

Os navios esperados para a utilização do TMU necessitam de um calado máximo de 11m, mas esse terminal terá mais um metro de folga para que a maré não impeça a realização dos trabalhos. Os portêiners utilizados ficarão sobre trilhos espaçados de 12m e 18m.

A construção desse cais será dentro do rio e tem a estimativa de utilizar estaca circular pré-moldada protendida com diâmetro de 70 cm. Esse tipo de estaca possui uma grande capacidade de carga que gira em torno de 310 tf. No topo de cada estaca é previsto um bloco de coroamento que servirá de apoio as vigas pré-moldadas longitudinais e transversais.

A laje será composta por peças pré-moldadas chamadas de pré-laje, para evitar a utilização de cimbramento e escoramento na execução da obra. Por cima dessas peças pré-moldadas será feita uma concretagem para monolítizar a estrutura.

Nos locais onde serão implantados os cabeços e defensas a concretagem deve ser em forma de um bloco monolítico para aumentar a rigidez. Para que elas possam resistir aos esforços solicitantes que os navios causam na estrutura no momento da atracação ou quando estiverem amarrados.

O TMU tem um comprimento previsto de 240 metros e 25m de largura, em concreto armado. Para evitar a retração do concreto a estrutura será dividida em 5 trechos iguais de 48m, dessa forma basta calcular os esforços de um trecho e adotar para todos os outros.

Esse cais terá um enrocamento de pedra destinado a proteger o aterro da retroárea do cais. O talude deve ser protegido devido à ação das ondas e também por causa dos navios modernos que possui sistema propulsor que auxilia nas atividades de atracação. A figura 23 mostra um corte da seção transversal da estrutura conforme ela está prevista.

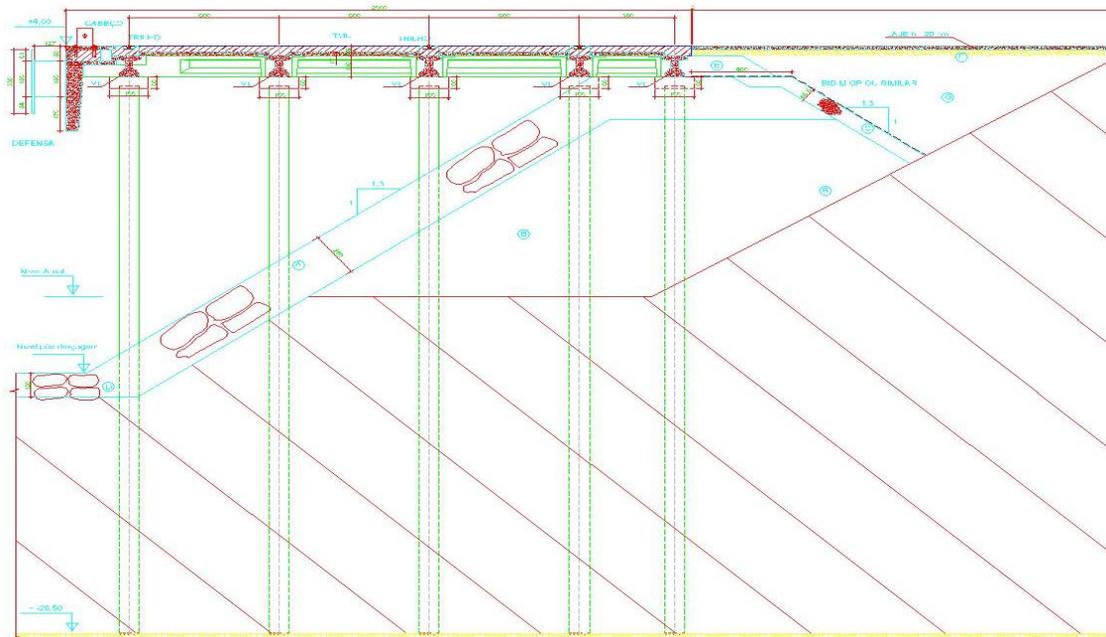


Figura 23: Seção transversal do TMU.

## 5.2. ESTUDO GEOTECNICO DO LOCAL

A atividade inicial do projeto foi à execução de sondagens SPT, com o intuito de obter conhecimento geotécnico do local, altura de lâmina d'água e uma estimativa da capacidade de carga do solo. No total foram realizadas 41 sondagens onde 13 foram realizadas no TMU e as outras 28 foram executadas no cais de granel.

No TMU, seis sondagens foram executadas no eixo onde está previsto a implantação do cais de paramento aberto e foram espaçadas a cada 50m, e o eixo está dentro do rio. E as outras foram realizadas na retroárea prevista nesse cais.

No cais de granel 25 sondagens foram executadas na linha de implantação do cais de paramento fechado espaçado a cada 50m, que também está dentro do rio, e apenas 3 sondagens foram realizadas na retroárea onde está prevista a construção de galpões de armazenamento.

A figura 24 mostra um esquema do local onde foram realizadas as sondagens SPT. No anexo 1 desse trabalho encontra-se a sondagem de nº9 que está de forma representativa a todas as outras sondagens realizadas.

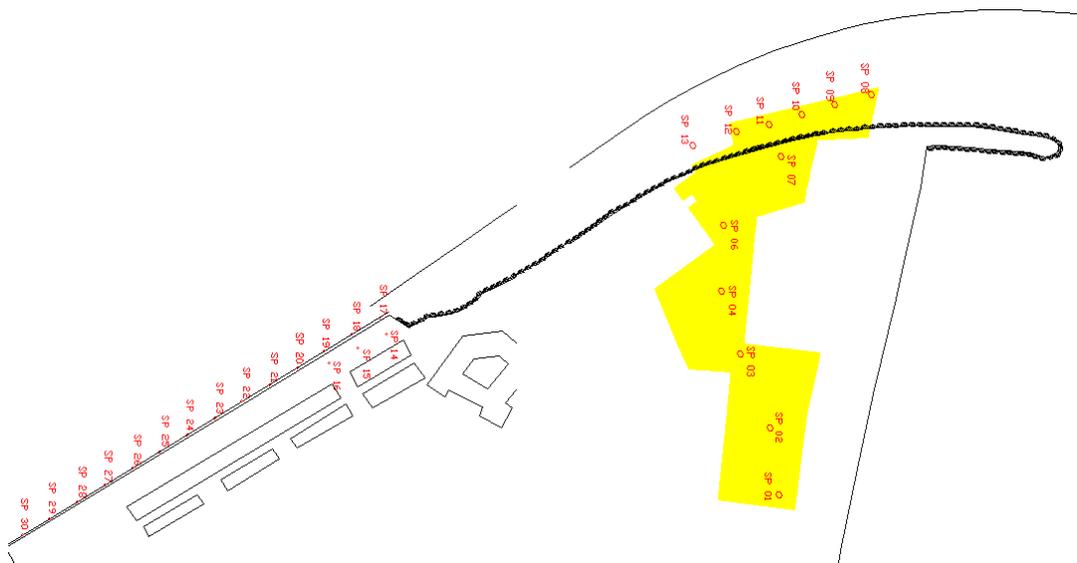


Figura 24: Localização das sondagens executadas.

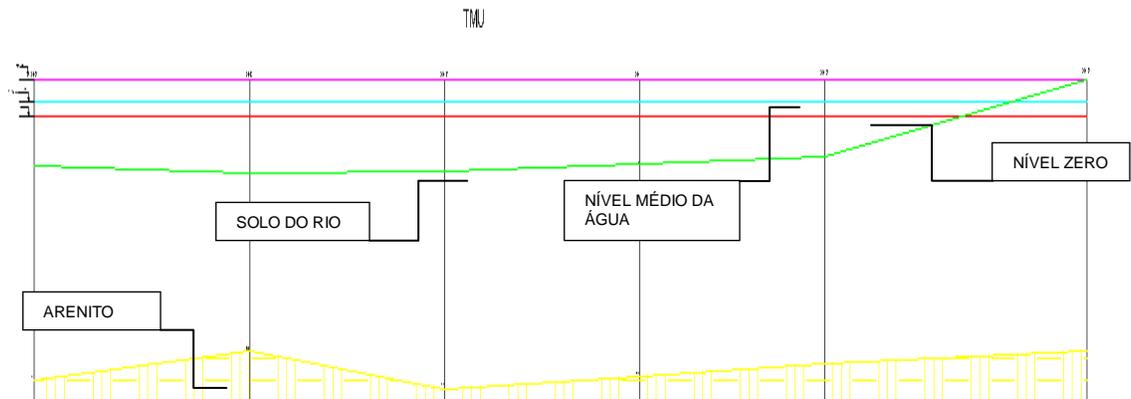
Com as sondagens realizadas foi possível conhecer o tamanho da lâmina d'água, ter uma estimativa dos níveis da maré do local e foram feitos dois perfis de solos.

Ao analisar todas as sondagens realizadas no eixo das estruturas a serem construídas notou-se que em média o nível do solo dentro do rio é de 9m abaixo no nível zero da capitania dos portos. Outro fato observado é que a maré tinha nível mínimo na cota de +2,2m e nível máximo de +3,2m. Dessa forma a lâmina d'água é em media de 11,7m.

Outro fato observado é que os dois cais necessitarão de dragagem para desempenhar suas atividades sem sofrer a influência da maré. Como a folga mínima com o navio carregado na maré baixa é em torno de 1m, essa camada inicial de solo a serão removido. O material dragado é composto por solo mole misturado com fragmentos de corais e conchas.

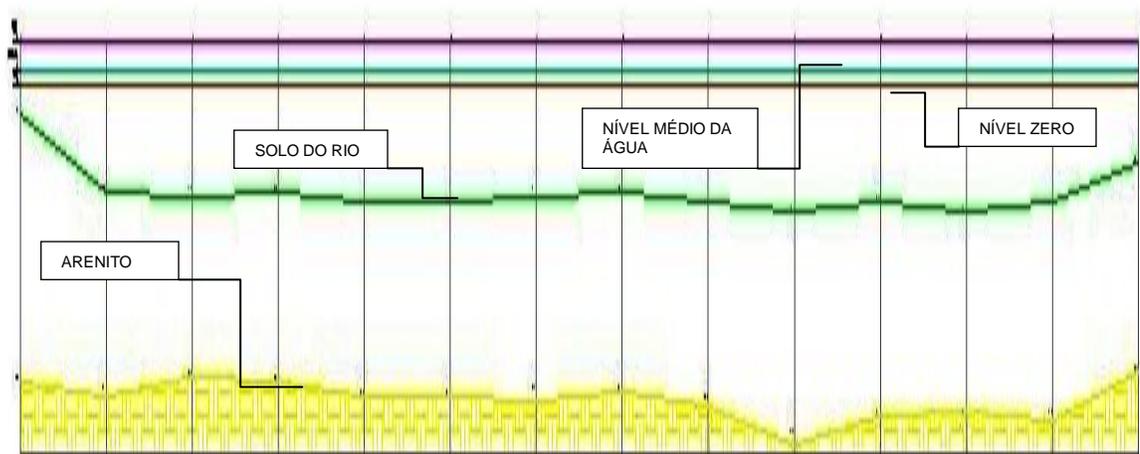
O perfil de solo feito pelas sondagens do projeto teve como objetivo encontrar a camada de solo mais resistente para a cravação das estacas previstas para construção dos dois cais. Foram observadas nas sondagens que o solo do local possui uma grande camada de solo mole deformável e pouco resistente composto por silte e argila mole.

Mas todas as sondagens foram realizadas até um arenito que aparenta uma grande capacidade de carga, onde as estacas poderão ser apoiadas na ponta. A figura 25 mostra o perfil das sondagens realizadas no TMU.



**Figura 25: Perfil das sondagens do TMU.**

Nos dois perfis das figuras 25 e 26 os caracteres de amarelo representam a camada de arenito, os verdes o nível do solo do rio, a laranja o nível zero da capitania dos portos e o azul o nível médio da água do rio. A figura 26 mostra o desenho do perfil feito para o cais de granel sólido.



**Figura 26: Perfil do cais de granel.**

### 5.3. ESTIMATIVA DOS ESFORÇOS DOS NAVIOS

Ambos os projetos necessitam ter uma estimativa dos esforços devido à ação dos navios, no anexo 2 desse trabalho, encontra-se o memorial de cálculo realizado para a obtenção dos esforços no TMU. Os dados obtidos foram às

forças devido ao impacto do navio na estrutura do cais, as forças nos cabos de amarração e conseqüentemente a força de tração nos cabeços e um possível espaçamento para as defensas.

Ao analisar as forças obtidas observa-se que as maiores solicitações obtidas são quando o navio sofre a ação dos ventos e da corrente marinha no sentido transversal. As menores no sentido longitudinal independentemente que ele esteja carregado ou em lastro. A tabela 10 a seguir mostra um quadro resumo das forças obtidas.

**Tabela 10: Resumo das forças obtidas.**

	LASTRO (tf)	CARGA (tf)
LONGITUDINAL	21,1	12,06
TRANSVERSAL	180,18	198,54

Os cálculos realizados não se prendem à obtenção das piores solicitações e sim, em obter vários esforços para escolher qual a melhor forma de atracar o navio em determinadas situações.

Nem sempre será possível ancorar o navio de forma que atue a menor força, por causa das ações ambientais no momento dessa operação portuária, os ventos e as correntes marinhas podem estar com valores superiores ao estimado.

As forças de tração obtidas no cabeço obtida foram de 24,36tf de deslocamento e 99,27tf de abatimento. Dessa forma cada cabeço deve ser dimensionado levando em consideração esse dois esforços onde o primeiro atuará em paralelo ao cais e o outro de forma normal à estrutura.

Outra informação obtida no cálculo é a energia de deformação, onde a partir dela pode-se adotar um tipo específico de defesa. Nesse projeto foram adotadas defensas do tipo SCN500-G1.

O resultado obtido foi a utilização de 4 defensas espaçadas a cada 50m, dessa forma parte da energia de impacto do navio será absorvida pela defesa sem causar danos ao casco do navio e a estrutura.

## 5.4. LANÇAMENTO DAS ESTRUTURAS

Nesse item serão descritos os lançamentos das estruturas dos cais para a obtenção dos esforços de solicitação nas estruturas que se deseja dimensionar.

No TMU, foram adicionados os esforços de atracação do navio, sobrecarga acidental e o peso próprio da estrutura. Não foram adicionados os esforços devido à ação das ondas nas estacas, por falta de informações necessárias para estimar a ordem de grandeza dessa solicitação e também não utilizou a ação da temperatura.

A força transversal de carga, calculada no anexo 2, igual a 198tf foi adicionada na estrutura montada. Como esse trabalho tem como objetivo de fazer apenas um anteprojeto, não foi possível obter todas as informações pertinentes para que possa aperfeiçoar a elaboração do projeto definitivo.

Um trecho do TMU possui as seguintes dimensões 25m x 48m as vigas e estacas foram moduladas para tentar resistir os esforços solicitantes já mencionados.

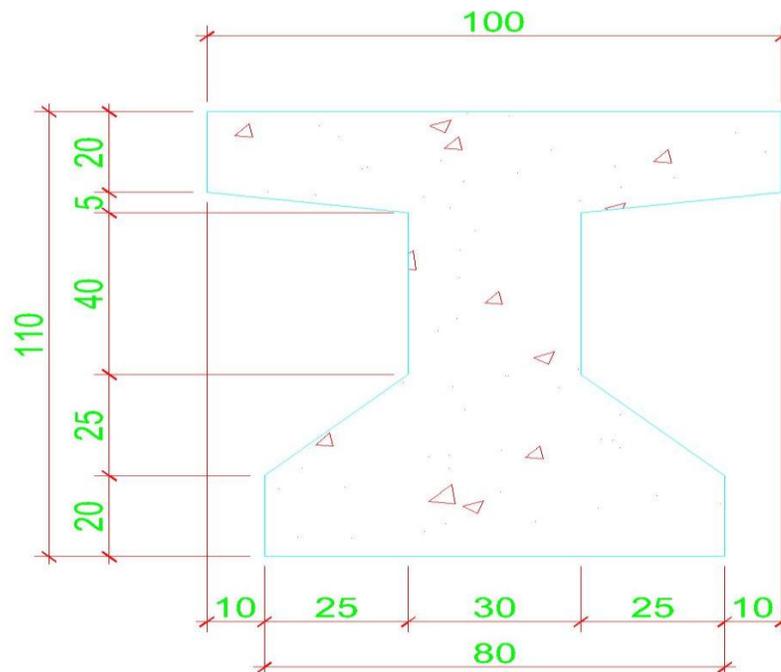
No sentido transversal do cais, haverá dois balanços, o balanço de frente ao mar será de 2,7m e o outro junto a retroárea será de 50 cm. É composto por 5 estacas de concreto, onde as 4 primeiras (sentido mar/retroarea) estão distantes de 6m entre eixos e a última está com 3,8m.

No sentido longitudinal o cais também terá dois balanços iguais de 1,5m. É composto por 11 estacas de concreto espaçadas entre os eixos de 4,2m. O enrocamento terá uma inclinação de 1h:1,3v e iniciando na cota de +4m e termina na cota de -13m.

As estacas em forma de cilindro vazado têm o diâmetro externo de 70 cm, espessura de 15 cm e comprimento médio de 29 m, do tipo EC700. O comprimento médio adotado foi baseado nas sondagens realizadas, onde a camada resistente fica localizada em media na cota -27m. Nessa simulação não serão considerados os momentos aplicados na cabeça das estacas.

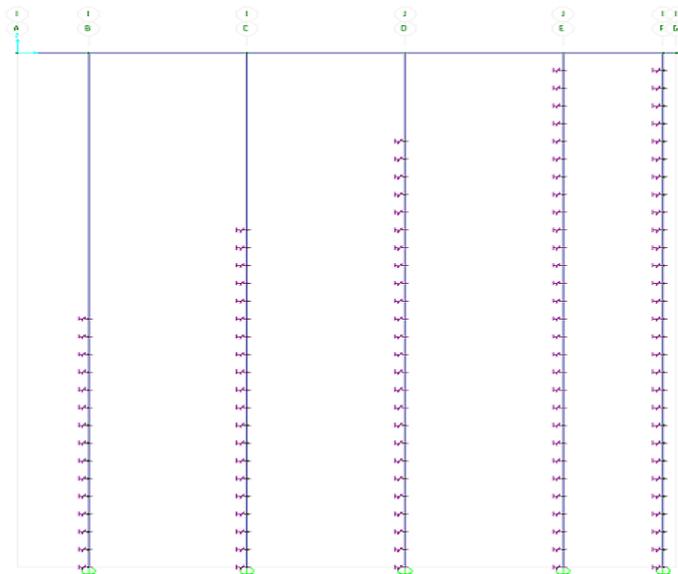
Na simulação numérica as estacas possuem uma condição de contorno fixada por molas, onde simula a interação com o solo de baixa resistência. O valor da constante de mola estimado foi baseado na argila mole, e igual a  $750\text{tf/m}$ .

As cargas atuantes no TMU utilizaram o peso específico do concreto igual a  $2,5\text{tf/m}^3$ , a sobrecarga adotada no projeto é de  $3,0\text{tf/m}^2$ , conforme é recomendado na norma da PORTOBRAS. As vigas transversais e longitudinais possuem seção I, a figura 27 mostra as dimensões básicas em centímetros das vigas adotadas no projeto.

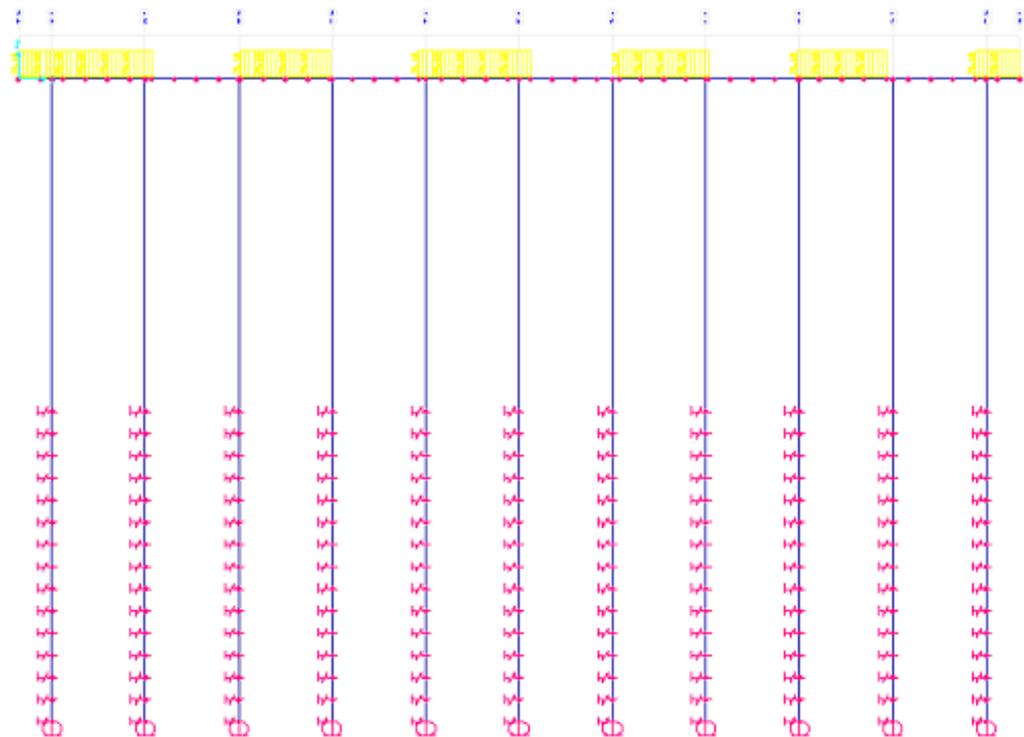


**Figura 27: Seção transversal típica das vigas utilizadas.**

O dimensionamento dos esforços de solicitação no cais será por intermédio de um software de cálculo estrutural e o programa adotado para esse fim foi o SAP2000. Nele foram lançadas as estruturas mencionadas. As figuras 28 e 29 mostram como ficou a estrutura montada no programa.



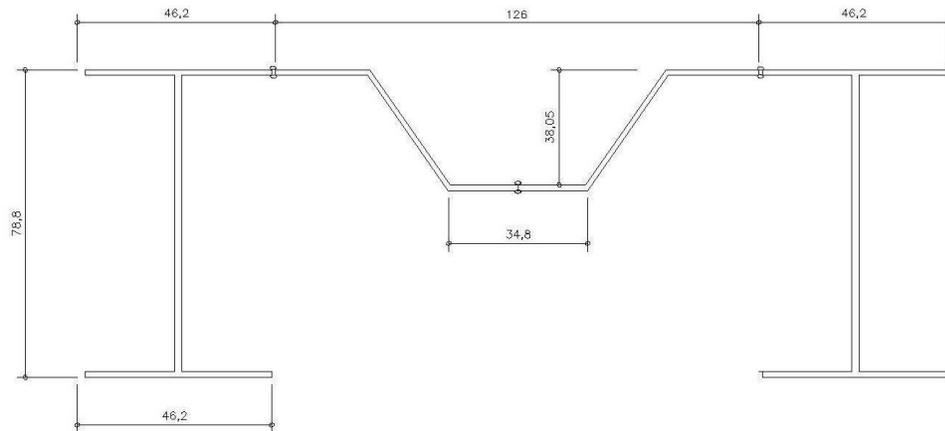
**Figura 28: Seção transversal do TMU no SAP2000.**



**Figura 29: Seção longitudinal do TMU no SAP2000**

O cais de granel sólido será construído em estacas pranchas metálicas do tipo HZ/AZ775B da BELGO, esse tipo de perfil é uma combinação dos perfis HZ com o AZ. É esperada uma grande solicitação nesse perfil, por causa das suas

dimensões de parede vertical e sobrecarga acidental para esse tipo de cais. O valor da sobrecarga acidental adotado foi de 3 tf/m<sup>2</sup>. A estaca metálica encontra-se detalhada em centímetros na figura 30 a seguir.



**Figura 30: Detalhe do perfil metálico HZ/AZ.**

O lançamento da estrutura considerou uma faixa de cais do tamanho da largura da estaca metálica. O tirante utilizado com diâmetro de 12,5cm ou ½” é uma cordoalha com 4 barras e aço do tipo CP190RB, e fixo na estaca prancha a 2m abaixo do topo.

A outra extremidade do tirante está fixa em um bloco de ancoragem de concreto. Esse bloco possui as seguintes dimensões 1m x 1m x 1m. Ele será apoiado por duas estacas quadradas de concreto com do tipo EV25 com 25 cm de face, ele ficará distanciado da estaca prancha de uns 13m e terá um comprimento médio de 14m.

O comprimento da estaca prancha adotado será em torno de 23m, o calado máximo do navio é 15,2m mais um metro de folga, e também a maré mais baixa ocorre na cota de +2,2 e o nível do cais será a +4,0m. Dessa forma só a parede vertical necessita de 18m de altura o restante será utilizado como ficha para dar apoio ao perfil e também será estimado que a estaca estará engastada no arenito.

Nessa cortina foi utilizada a mesma consideração, em que a estaca encontra-se inserido em uma base elástica, adotando-se o valor da constante de mola igual a 750tf/m, somente no comprimento de ficha.

Os parâmetros do solo foram adotados de acordo com a sondagem realizada e para simplificar os cálculos foi admitida uma única camada de solo argiloso com valores mostrados a seguir:

- Coesão =  $C = 0,5\text{t/m}^2$ ;
- Peso específico do solo =  $\gamma = 1,2\text{t/m}^3$ ;
- Ângulo de atrito =  $\delta = 10^\circ$ ;
- Para esses valores o  $E_a = 28,5\text{tf/m}$  e o  $E_p = 7,33\text{tf/m}$

O lançamento da estrutura no software necessitou de fazer uma pequena modificação, porque a seção transversal do perfil adotado não faz parte da biblioteca do software utilizado na análise. Então foi criada uma seção quadrada metálica de  $1\text{m} \times 1\text{m}$ , mas utilizaram-se coeficientes de forma que corrigem a área e inércia da seção criada. A figura 31 mostra como ficou a estrutura lançada no programa.

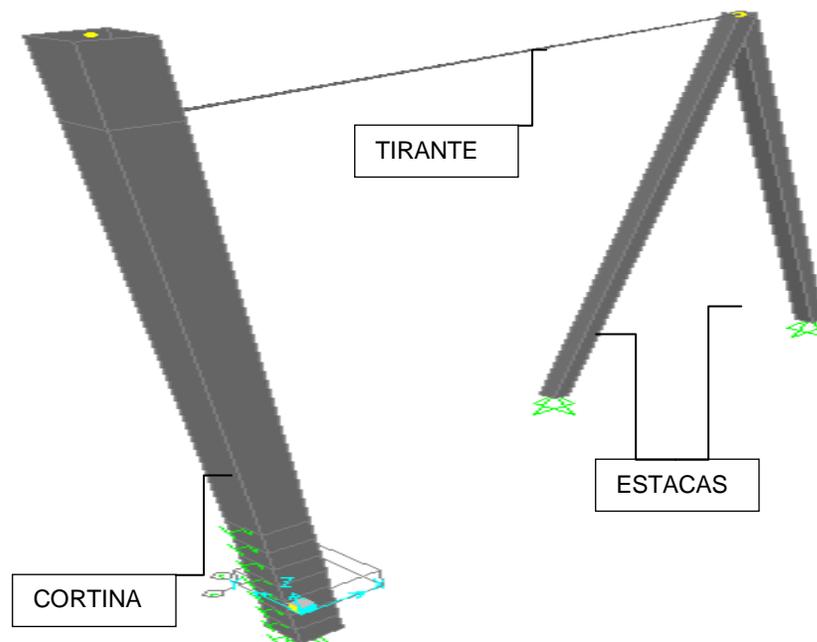
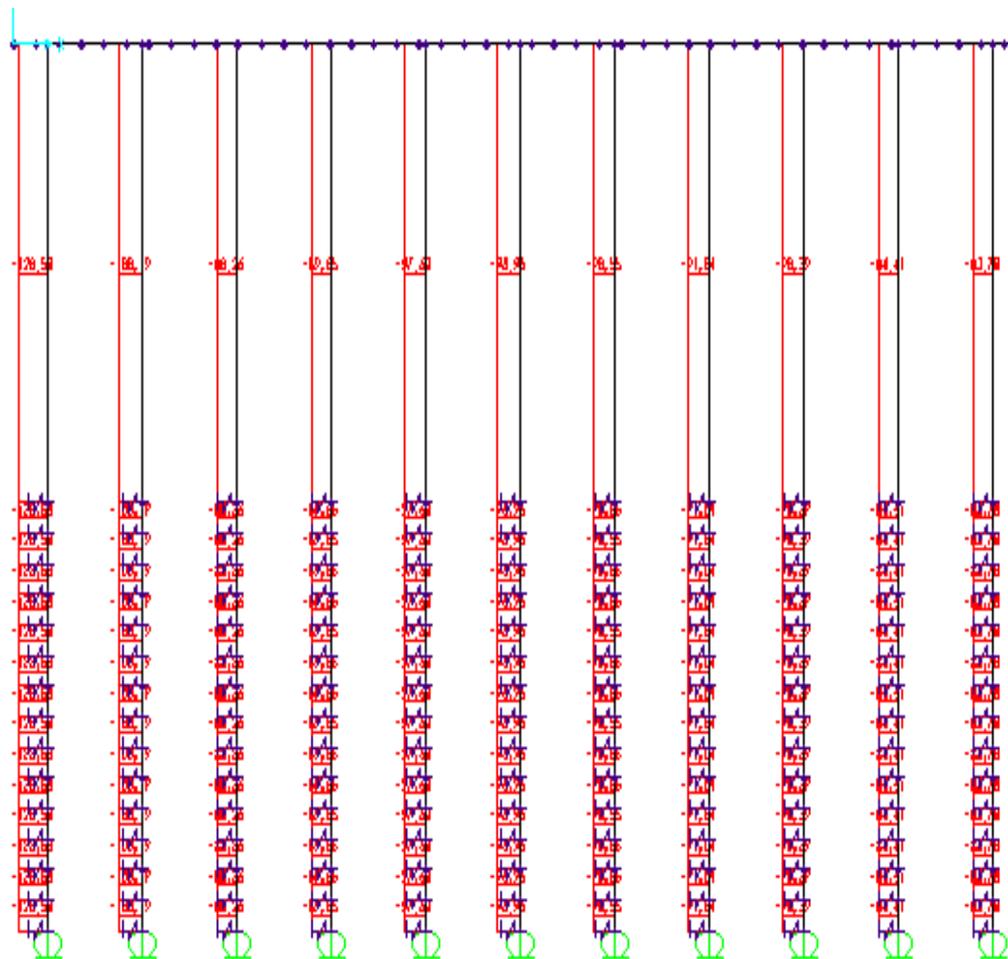


Figura 31: Detalhe de uma faixa do cais de granel no SAP2000.





Os maiores esforços normais encontrados nesse cálculo estão na estaca do meio da figura 33, com valor em torno de 163,4 tf como também foi realizado o cálculo no sentido longitudinal e o maior valor para o esforço normal foi de 128 tf. A estaca adotada terá capacidade suficiente para suportar os esforços de solicitação previstos para o TMU, pois a capacidade resistente dela é de 310 tf. A figura 34 mostra os esforços normais da estrutura longitudinal.



**Figura 34: Esforço normal na seção longitudinal calculado no SAP2000.**

Os esforços calculados no cais de granel foram o momento fletor, a força axial no cabo de protensão e os esforços normais nas estacas de suporte do bloco de ancoragem.

O esforço normal no tirante foi da ordem de 32 tf. A carga que a cordoalha de tirante suporta é em torno de 35 tf, assim o tirante consegue suportar as cargas de projeto.

Os esforços axiais de compressão nas estacas são da ordem de 60 tf e de tração de 58 tf, como a estaca adotada suporta uma carga em torno de 65 tf na compressão, mas para a tração ela deve ter uma armadura adicional para suportar a os esforços. A figura 35 mostra os esforços normais de tração e compressão da estrutura.

O momento fletor obtido na estaca prancha foi da ordem de 132 mtf, o anexo 4 mostra a verificação da flexão do perfil de acordo com a NBR 8800/08. O resultado da análise comprova que o perfil adotado suporta as solicitações decorrentes do carregamento. A figura 36 mostra os gráficos de momentos fletores na estaca prancha.

Após as verificações nas duas estruturas devem-se realizar um levantamento dos quantitativos de materiais a serem empregados nas duas obras e também os volumes de materiais a serem movimentados na criação dos aterros estimados em cada obra.

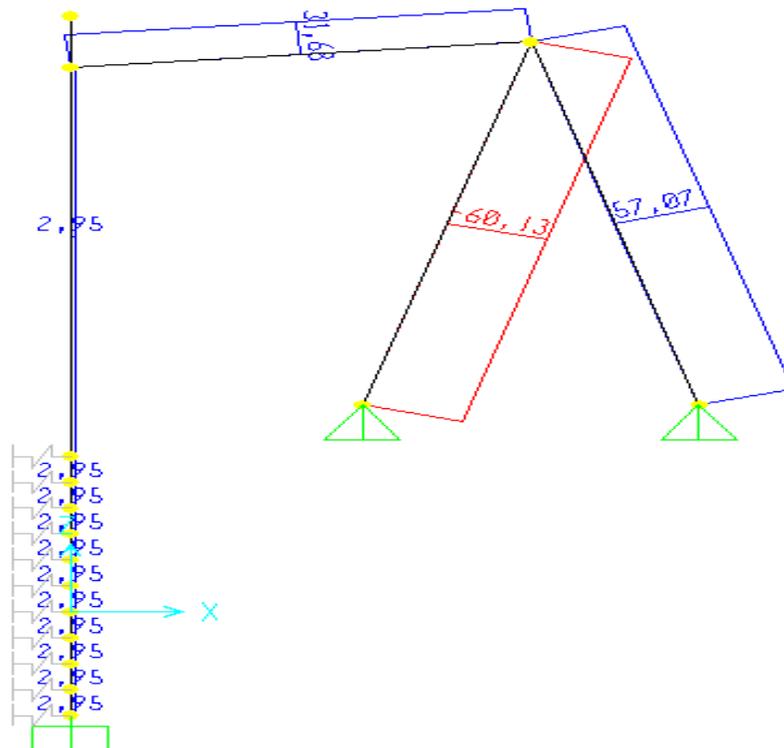


Figura 35: Esforço normal na estaca prancha calculado no SAP2000.

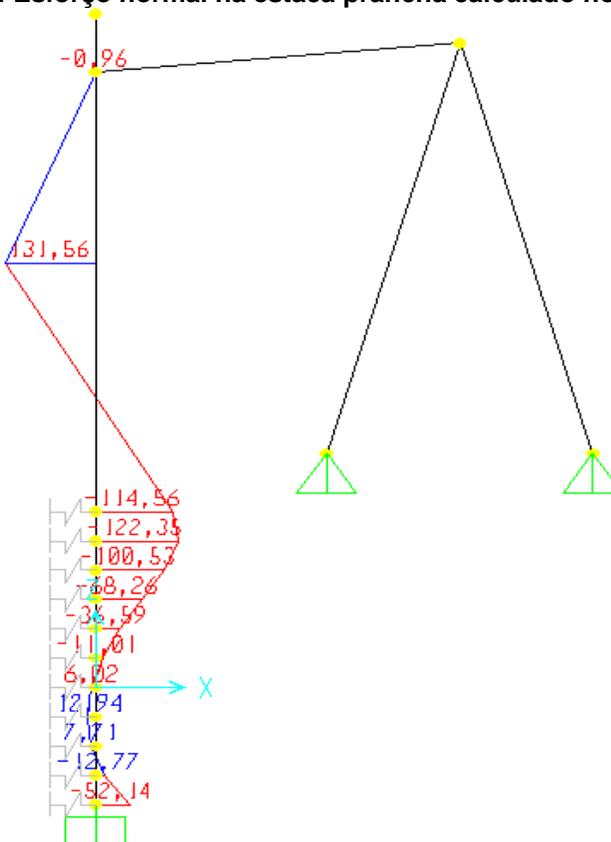


Figura 36: Momento Fletor na estaca prancha calculado no SAP2000.

## 5.6. RECOMENDAÇÕES CONSTRUTIVAS

Este item do capítulo abordará às recomendações necessárias para que o anteprojeto proposto pelo presente trabalho seja aprimorado no projeto final. As recomendações visam desde o tipo de materiais a serem utilizados, as complementações das informações obtidas e um estudo de viabilidade econômico dos métodos construtivos adotado.

É necessário complementar as informações das ações de carga devido às correntes marinhas, e também é recomendável a realização de estudos para ter uma estimativa do valor da velocidade da corrente marinha e das ondas. Outro estudo necessário é o da variação da maré da região.

Um levantamento batimétrico do local para ajudar a descrever a superfície do terreno encoberto pela água, a partir disto, pode-se verificar a quantidade material que deverá ser dragado e utilizado como uma jazida para os aterros projetados para as obras.

Realização de ensaios para obter com precisão os parâmetros dos solos e execução de ensaios com sondagem rotativa para averiguar a resistência da camada de arenito detectada nas sondagens.

Um estudo de estabilidade de talude nas estruturas de aterro previsto para serem construídas no TMU e no Cais de granéis.

Fazer ensaios de prova de cargas nas estacas para averiguar se elas foram bem cravadas e fixas no arenito.

Utilizar os materiais especificados com as mesmas recomendações técnicas adotadas no anteprojeto.

Se o local onde o projeto será implantado possuir uma classe de agressividade bastante considerável é recomendado a utilização de um concreto com uma resistência acima de 45MPa e também um cobrimento de no mínimo 5 cm.

## **CAPÍTULO 6**

### **CONCLUSÕES**

Durante o presente trabalho verificou-se que as obras portuárias são realmente complexas do ponto de vista estrutural, necessário de um bom anteprojeto para dar a estimativa de custos. Essas obras possuem dimensões elevadas comparadas com a de um edifício. Quanto mais conhecimento da região pode ajudar a diminuir os valores gastos para a realização do empreendimento.

A pesquisa mostrou vários aspectos bastante importantes na elaboração de um projeto de estruturas portuárias. Apontando as várias formas de portos de acordo com as cargas que se desejam transportar. Foram descritos os equipamentos auxiliares para a atracação e fixação dos navios e as edificações a serem construídas.

As defensas foram umas das estruturas auxiliares descritas e seu papel principal é de absorver o impacto do navio aos cais. Os cabeços são elementos utilizados para fixar os elementos de amarração dos navios à estrutura. Os dolphins são elementos auxiliares na amarração da embarcação e seu dimensionamento é semelhante ao do cais de paramento aberto.

Este trabalho descreveu as ações da natureza na estrutura e também a forma de quantificação das solicitações, que os barcos causam na estrutura por causa da ação do vento, das ondas do mar, as correntes marinhas e etc.

Foram relatados os tipos de navios que podem ser utilizados nas operações portuária e as suas dimensões.

O trabalho mostrou várias formas de cais utilizados em obras portuárias sendo analisadas apenas duas. Para complementar esse projeto deveria ser realizado um estudo de viabilidade econômica para os diversos tipos relatados. No qual deveriam ser consideradas variáveis importantes como o custo, a

disponibilidade de material no momento da construção e o tempo de execução do empreendimento.

Na elaboração de projetos portuários pode-se observar que os investimentos nos estudos geotécnicos nunca são em vão. Todo e qualquer valor investido em estudos prévios geram uma economia tanto no dimensionamento, quanto na execução das onerosas estruturas a serem executadas, em geral, de elevados custos.

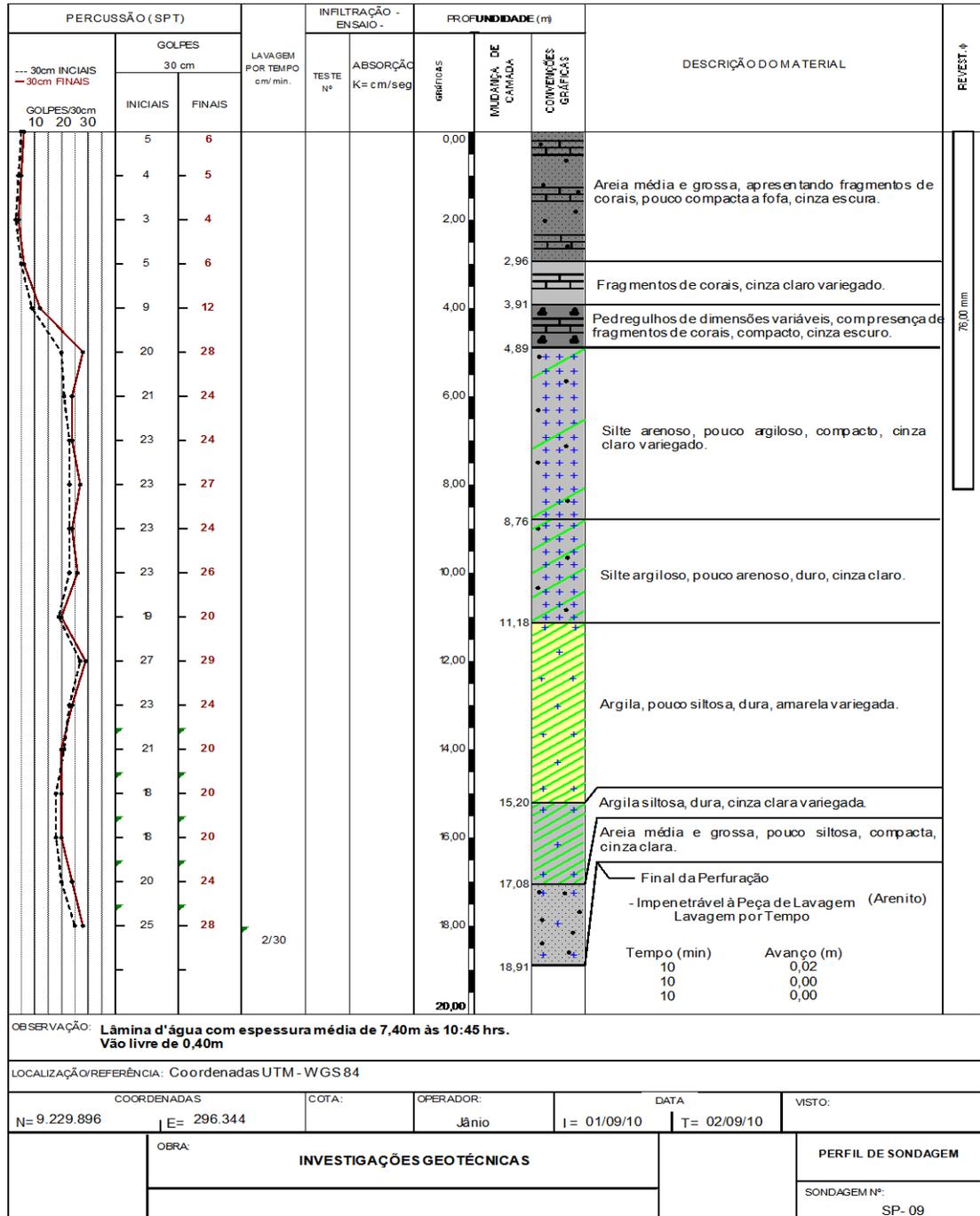
Conforme verificado no estudo de caso todas as dimensões adotadas foram adequadas. Elas basearam-se em projetos realizados anteriormente e adaptadas para o projeto em questão.

Para que o projeto executivo não mantenha erros por causa de simplificações admitidas no dimensionamento ou que sejam necessárias algumas modificações, são necessários maiores informações de toda concepção do projeto e de informações geotécnicas mais precisas, dos métodos construtivos a serem utilizados e a disponibilidade de material no local da obra.

# CAPÍTULO 7

## ANEXOS

### ANEXO 1



## ANEXO 2

### VERIFICAÇÃO DO CAIS PARA NAVIOS COM 40000 DWT

$$k := 100 \quad tf := k \cdot kgf$$

#### 1 - DADOS DO NAVIO

Comprimento  $L := 195r$

Peso próprio  $DW := 145tf$

deslocamento  $W := DW \cdot 1.3 = 188.5tf$

boca  $b := 24r$

calado  $D := 1m$

pontal  $p := 15r$

Profundidade do leito  $pl := 18r$

Comprimento do cais  $cl := 400r$

$$\text{Calado lastro } Dm := \frac{D \cdot (W - DW)}{W} = 2.54m$$

#### 2 - ANÁLISE DOS DADOS

##### 2.1 - Estudo da ação do vento e das correntes marítimas

###### a - Sentido transversal

Navio em lastro

vento  $Avt := L \cdot (p - Dm) = 2430m^2$

correntes  $Act := Dm \cdot L = 495m^2$

Navio em carga

vento  $AVt := (p - D) \cdot L = 780m^2$

correntes  $ACt := D \cdot L = 2145m^2$

###### b - Sentido longitudinal

Navio em lastro

vento  $Avl := b \cdot (p - Dm) = 299.08m^2$

correntes  $Acl := Dm \cdot b = 60.92m^2$

**Navio em carga**

$$\text{vento} \quad AVl := b \cdot (p - D) = 96m^2$$

$$\text{correntes} \quad ACI := b \cdot D = 264m^2$$

**2.1.1 - VENTO**

$$\text{Velocidade do vento} = 30 \text{ m/s} \quad V_v := 30 \frac{m}{s} \quad kv := 1.2 \frac{tf \cdot s^2}{m^4 \cdot 1000}$$

$$fve := kv \cdot \frac{V_v^2}{16} = 0.07 \frac{1}{m^2} \cdot tf$$

$$\text{Navio em lastro} \quad Fvt := Avt \cdot fve = 164.03tf$$

$$Fvl := Avl \cdot fve = 20.19tf$$

$$\text{Navio em carga} \quad FVt := AVt \cdot fve = 52.65tf$$

$$FVl := AVl \cdot fve = 6.48tf$$

**2.1.2 - CORRENTES MARÍTIMAS**

$$\text{Velocidade da corrente} = 0,50 \text{ m/s} \quad v_c := 0.50 \frac{m}{s}$$

$$\text{Navio em lastro} \quad kcll := \left(1 + \frac{Dm}{pl}\right) \cdot \frac{tf \cdot s^2}{m^4 \cdot 1000} = 1.14 \frac{kgf \cdot s^2}{m^4}$$

$$kctl := \left[1 + \left(1 + \frac{Dm}{pl}\right)^3\right] \cdot \frac{tf \cdot s^2}{m^4 \cdot 1000} = 2.49 \frac{kgf \cdot s^2}{m^4}$$

$$\text{Navio em carga} \quad kccl := \left(1 + \frac{D}{pl}\right) \cdot \frac{tf \cdot s^2}{m^4 \cdot 1000} = 1.61 \frac{kgf \cdot s^2}{m^4}$$

$$kcct := \left[1 + \left(1 + \frac{D}{pl}\right)^3\right] \cdot \frac{tf \cdot s^2}{m^4 \cdot 1000} = 5.18 \frac{kgf \cdot s^2}{m^4}$$

$$\text{lastro} \quad Fcll := kcll \cdot 52.5 v_c^2 \cdot ACI = 0.91tf$$

$$\text{carga} \quad Fclc := kccl \cdot 52.5 v_c^2 \cdot ACI = 5.58tf$$

$$Fctl := kctl \cdot 52.5 v_c^2 \cdot ACt = 16.15tf$$

$$Fctc := kcct \cdot 52.5 v_c^2 \cdot ACt = 145.89tf$$



### ANEXO 3

#### Dados de entrada

$$k := 100 \quad tf := 1 \cdot 1 \text{kgf}$$

Sobrecarga acidental	$sc_a := 3 \frac{tf}{m^3}$	Espessura da laje	$e_{laje} := 33 \text{cm}$
Peso específico do concreto	$g_c := 2.5 \frac{tf}{m^3}$	Base da viga	$b_v := 120 \text{cm}$
Comprimento do vão	$l_v := 6 \text{m}$	Altura da viga	$h_v := 110 \text{cm}$
Largura da faixa considerada	$l_f := 4.2 \text{m}$	Área da viga	$A_v := 4800 \text{cm}^2$
Fck do concreto	$f_{ck} := 4500 \frac{tf}{m^2}$	Cobrimento	$c_c := 5 \text{cm}$
Modulo de Elasticidade	$E_c := 2.6 \cdot 10^7 \frac{tf}{m^2}$	Relação a/d	$a := 0.62$
Momento de Inércia	$I_x := 0.089 \text{m}^4$	Momento de cálculo	$M_c := 95.7 \text{m} \cdot \text{tf}$

#### Verificação da Altura Mínima da Viga do TMU de acordo com a NBR6118/03

$$d := \sqrt{\frac{1.4^2 \cdot M_c}{0.85 f_{ck} \cdot 0.8 b_v \cdot a \cdot (1 - 0.4 a)}} = 32.959 \text{cm} \quad h_{\min} := d + c_c = 37.959 \text{cm}$$

if( $h_v > h_{\min}$ , "A VIGA PASSA", "MUDAR AS DIMENSÕES DA VIGA") = "A VIGA PASSA"

#### Verificação da flecha da Viga do TMU de acordo com a NBR6118/03

$$L_{\max} := \frac{l_v}{250} = 0.024 \text{m} \quad Q_v := g_c \cdot A_v + sc_a \cdot l_f \cdot e_{laje} = 5.358 \frac{tf}{m} \quad L_{\text{cal}} := \frac{(5 \cdot Q_v \cdot l_v^4)}{384 E_c \cdot I_x} = 3.907 \times 10^{-5} \text{m}$$

if( $L_{\max} > L_{\text{cal}}$ , "A VIGA PASSA", "MUDAR AS DIMENSÕES DA VIGA") = "A VIGA PASSA"

## ANEXO 4

### Verificação do perfil metálico do cais de granéis de acordo com a NBR8800/08

DADOS

$$M_{\text{calc}} := 131.5 \text{ mtf}$$

OBS: esse valor já está majorado.

$$f_y := 25000 \frac{\text{tf}}{\text{m}^2}$$

Perfil adotado HZ/AZ 975D

$$t_f := 23 \text{ mm} \quad W_{\text{hz}} := 9020 \text{ cm}^3$$

$$f_r := 7500 \frac{\text{tf}}{\text{m}^2}$$

$$h := 975 \text{ mm}$$

$$b_f := 462 \text{ mm}$$

$$E_a := 200 \cdot 10^5 \frac{\text{tf}}{\text{m}^2}$$

$$t_w := 16 \text{ mm}$$

$$h_{\text{alma}} := h - 2 \cdot t_f = 929 \text{ mm}$$

### Verificação da FLA

$$l_a := \frac{h_{\text{alma}}}{t_w} = 58.062$$

$$l_{\text{ar}} := 5.7 \left( \frac{E_a}{f_y} \right)^{0.5} = 161.22$$

$$l_{\text{ap}} := 3.76 \left( \frac{E_a}{f_y} \right)^{0.5} = 106.349$$

$$I_{\text{FLA}} := \begin{cases} \text{"zona plastica"} & \text{if } l_a \leq l_{\text{ap}} \\ \text{"zona elastica"} & \text{if } l_{\text{ap}} < l_a \leq l_{\text{ar}} \\ \text{"zona residual"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"zona plastica"}$$

### Momento Fletor do regime Plástico

$$M_{\text{rFLA}} := f_y \cdot W_{\text{hz}} = 225.5 \text{ mtf}$$

### Verificação de FLM

$$l_m := \frac{b_f}{2 \cdot t_f} = 10.043 \qquad k_c := \frac{4}{\sqrt{l_a}} = 0.525$$

$$l_{mr} := 0.83 \left[ \frac{E_a}{(f_y - f_{lr})} \right]^{0.5} = 28.059$$

$$l_{mp} := 0.95 \left[ \frac{E_a \cdot k_c}{(f_y - f_{lr})} \right]^{0.5} = 23.269$$

$$l_{FLM} := \begin{cases} \text{"zona plastica"} & \text{if } l_m \leq l_{mp} \\ \text{"zona elastica"} & \text{if } l_{mp} < l_m \leq l_{mr} \\ \text{"zona residual"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"zona plastica"}$$

### Momento Fletor do regime Plástico

$$M_{rFLM} := (f_y - f_{lr}) \cdot W_{hz} = 157.85 \text{ mtf}$$

### Verificação do perfil

$$M_R := \frac{\min(M_{rFLA}, M_{rFLM})}{1.1} = 143.5 \text{ mtf}$$

$$\text{if}(M_{\text{calc}} < M_R, \text{"O perfil passa"} , \text{"O perfil não passa"}) = \text{"O perfil passa"}$$

## **CAPÍTULO 8**

### **BIBLIOGRAFIA**

MASON, Jaime – Obras Portuárias – 2ªed. – Rio de Janeiro-RJ, Editora Campus,1982;

ANDRADE, L.E.C – Um Estudo Sobre Terminais para Granéis Sólidos – Dissertação de Mestrado, USP – São Paulo – SP, 2003;

ALMEIDA, C.F. – Contribuição ao Dimensionamento de Terminais Hidroviários Urbanos de Passageiros – Dissertação de Mestrado, UNB – Brasília – DF, 2000;

ALFREDINI, P. – Obras e Gestão de Portos e Costas – 1ª Ed, São Paulo – SP, Editora Edgard Blucher, 2005.

FANTI, F.D – Concepção, Métodos Construtivos e Dimensionamento de Terminais para Contêineres – Dissertação de Mestrado, USP- São Paulo, 2007

CAPUTO, Homero Pinto- Mecânica dos Solos e suas Aplicações-Volume 2- 5ªed.- Rio de Janeiro-RJ- Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1976;

ARCELOR- Catálogo de Estacas Pranchas Metálicas- Disponível em: <http://www.belgo.com.br/produtos/estacasprancha.pdf>. Acessado em 11 de julho de 2011;

MARITIMO, ANDINO- Catálogo de Defensas do tipo SCN- Disponível em: <http://www.andino.ind.br/prodDefensas.htm>. Acessado em 11 de julho de 2011;

MASTER SOLOS- Relatório Técnico de Sondagem, 2010;

ARCELOR- Catálogo de Cabos e Cordoalhas para Concreto Protendido- Disponível em: <http://www.belgo.com.br/produtos/protendido.pdf>. Acessado em 11 de julho de 2011;

SOLOSSANTINI- Catálogo de estacas pré-moldadas- Disponível em: <http://www.solossantini.com.br/interna.asp?id=22>. Acessado em 11 de julho de 2011;

T&A- Catálogo de estacas pré-moldadas- Disponível em: [http://www.tea.com.br/conteudo/produtos/estacas/folder\\_estacas.pdf](http://www.tea.com.br/conteudo/produtos/estacas/folder_estacas.pdf). Acessado em 11 de julho de 2011;

Porto de SUAPE- Site oficial do Porto de Suape- Disponível em: [www.suape.com.br](http://www.suape.com.br). Acessado em 05 de dezembro de 2010;

Pier Mauá- Site oficial do Pier de Mauá- Disponível em: <http://www.piermauasa.com.br/>. Acessado em 05 de dezembro de 2010;

Porto do Paraná- Site oficial dos Portos do Paraná- Disponível em: <http://www.portosdoparana.pr.gov.br/> Acessado em 05 de dezembro de 2010;

Compainha Portuária Vila Velha- Site oficial da Compainha Portuária de Vila Velha- Disponível em: <http://www.cpvv.com.br>. Acessado em 05 de dezembro de 2010.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas- Projeto de Estruturas de Concreto- Procedimento- NBR 6118, março de 2003.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas- Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios- Procedimento- NBR 880, setembro de 2008.

PORTOBRAS- Empresa de Portos do Brasil S.A.- Comitê de Recomendações Para Obras Portuárias- CROPOR 2.