

Port structures – the distribution of forces on infrastructure due to mooring and berthing of vessels

Estruturas portuárias – distribuição de esforços na infraestrutura devidos à amarração e atracação de embarcações



C. COMIN^a
comin@ufpa.br

R. M. DE SOUZA^b
remodesouza@ufpa.br

Abstract

This work presents a study on the project actions required for the design and analysis of port structures, with regard to the impacts of mooring and berthing of vessels. This study sought to conduct a literature review, with emphasis on technical standards and codes, encompassing both national and international publications, including the Brazilian Standard NBR 9782/1987, the British Standard BS 6349, and the German Standard EAU 2004, in addition to the recommendations of the Permanent International Association of Navigation Congresses (PIANC 2002), and those of Jayme Mason (1982) in "Port Works". The design procedures proposed by these different references regarding the computation of forces induced by mooring and berthing of vessels were evaluated in this work. Additionally, a case study of a port's substructure was carried out, and a comparative analysis of the results, obtained with each recommendation of the aforementioned publications, was performed. The results showed a remarkable dispersion, revealing that the standards used strongly influence the design loads of port structures.

Keywords: maritime facilities, mooring, berthing, vessels.

Resumo

O presente trabalho apresenta um estudo sobre as ações de projeto a serem consideradas no dimensionamento e análise de estruturas portuárias, no tocante às solicitações devidas à amarração e atracação de embarcações. O estudo buscou fazer um levantamento sobre o assunto na literatura nacional e internacional, com ênfase nas normas técnicas, em especial a NBR 9782/1987, a norma inglesa BS 6349 e a norma alemã EAU 2004, além das recomendações da Permanent International Association of Navigation Congresses (PIANC 2002) e de Mason (Jayme, 1982) em sua publicação Obras Portuárias. Foram estudados os métodos de cálculo dos esforços devido à amarração e atracação de embarcações segundo as diversas referências. Posteriormente realizou-se uma análise comparativa entre os resultados dos esforços obtidos com cada método de cálculo em um estudo de caso de uma estrutura, para o qual é analisada a sua infraestrutura. Os resultados demonstraram uma notável dispersão entre os métodos utilizados nos cálculos, evidenciando uma grande influência do código normativo utilizado para as análises no dimensionamento de estruturas portuárias.

Palavras-chave: estruturas portuárias, amarração, atracação, embarcações.

^a PPGEC – Federal University of Pará, Belém, PA, Brazil;
^b FEC/ITEC – Federal University of Pará, Belém, PA, Brazil.

1. Introdução

A construção de portos e cais encontra-se entre os primeiros grandes empreendimentos da civilização humana. Os antigos dispunham de um grande conhecimento de natureza intuitiva em suas obras portuárias, que, infelizmente, foi perdido no declínio dos impérios e na mudança das costas marítimas. As estruturas portuárias de madeira e pedra construídas a menos de cem anos atrás, gradualmente estão sendo substituídas por estruturas de concreto e aço, que têm estendido as instalações portuárias marítimas para águas mais profundas e em locais expostos. Mesmo assim, os projetistas de portos e cais ainda dependem fortemente do estudo de experiências passadas para refinar a sua análise e práticas de projetos contemporâneos (Gaythwaite, 2004, p. 1).

A engenharia de estruturas portuárias engloba o planejamento, projeto e construção de estruturas ancoradas fixas e estruturas flutuantes fixas ao longo de costas oceânicas e de grandes rios e lagos, além das obras da categoria offshore. A Tabela 1 apresenta uma visão geral dos tipos de estruturas envolvidas neste contexto. Os portos são um dos pontos estratégicos mais importantes da economia de um país, uma vez que grande parte da produção em massa geralmente é escoada através deles (Amador Júnior, 2006, p. 4). As estruturas portuárias são a ligação do transporte terrestre, rodoviário ou ferroviário, com o aquaviário, e nelas é necessário carregar e descarregar os navios com rapidez e eficiência. Alguns profissionais da área técnica dizem que geralmente não há uma ferrovia sem um porto, especialmente tratando-se em ferrovias destinadas predominantemente para transporte de cargas. No projeto de uma estrutura portuária é necessária uma grande quantidade de informações para a concepção de uma solução que seja capaz de atender às demandas de movimentação de carga para a qual esta estrutura será projetada com eficiência e viabilidade técnica e econômica. Inicialmente, estas informações dependem, por sua vez, de algumas características gerais, destacando-se como as mais relevantes: (i) o tipo de carga a ser movi-

mentada no porto/terminal; (ii) os tipos de embarcações que irão operar na área e (iii) as condições ambientais locais.

Para uma melhor compreensão e no intuito de contemplar todos os tipos de estruturas portuárias, sejam elas para portos organizados, terminais especializados ou de carga geral, doravante será utilizado o termo “instalação portuária” para fazer menção às estruturas citadas até o momento.

Os critérios de projeto de instalações portuárias devem ser estabelecidos após a consideração cuidadosa de vários requisitos operacionais, funcionais e de navegação, além das condições ambientais do local e as restrições físicas e legais. A Tabela 2 apresenta um resumo destas considerações.

A Figura 1 apresenta uma generalização das solicitações sob as quais a estrutura de uma instalação portuária está submetida, apresentando o exemplo de um píer. Dentre os elementos listados na Tabela 2, destaca-se a importância da avaliação das ações que os navios e embarcações podem exercer sobre estas estruturas, as quais são objeto de estudo deste trabalho e que se caracterizam essencialmente pelos esforços que os navios transmitem às instalações 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 instalações portuárias com a consequente transmissão da energia cinética do navio à estrutura e sua transformação em energia de deformação das estruturas e das defensas. Da equivalência entre a energia cinética de impacto dos navios e a energia de deformação, computadas 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 (Mason, 1982, p. 88).

Quanto ao segundo aspecto, isto é, o dos esforços de fixação ou amarração dos navios às instalações portuárias, deve-se levar em conta a ação dos ventos, correntes marítimas e ondas sobre os mesmo, determinando ou avaliando as forças resultantes transmitidas pelos cabos de amarração e seus elementos de fixação.

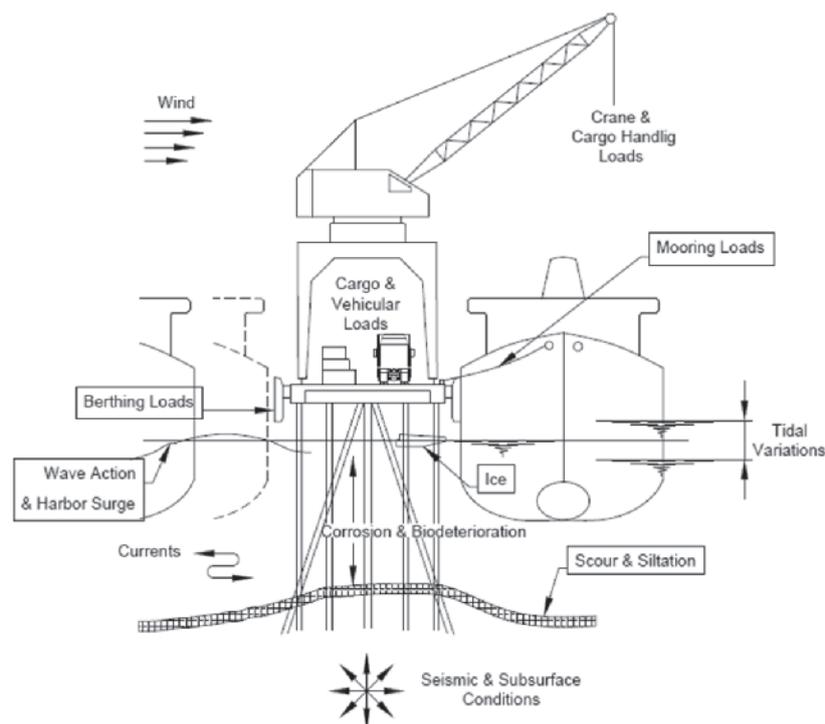
Tabela 1
Campo de atuação da engenharia de estruturas portuárias

	Obras costeiras	Portos e cais	Offshore
Objetivo	Proteção da costa	Navegação, atracação e manutenção de embarcações	Extração de recursos naturais (petróleo e gás)
Tipos de projetos	<ul style="list-style-type: none"> * Quebra-mares * Molhes e diques * Espigões * Paredões * Estabilização de encostas * Controle de cheias * Controle de emissão de poluentes 	<ul style="list-style-type: none"> * Dragagem: canais e bacias de evolução * Estruturas de portos e terminais * Estaleiros * Portos para pequenas embarcações * Ancoradouros 	<ul style="list-style-type: none"> * Plataformas fixas * Unidades de perfuração móveis * Ancoradouros * Tubovias submersas * Terminais offshore's
Subitens relacionados	<ul style="list-style-type: none"> * Monitoração costeira * Levantamento hidrológico * Desenvolvimento portuário 	<ul style="list-style-type: none"> * Bacias de evolução * Vias navegáveis interiores * Instalações portuárias industriais * Desenvolvimento portuário 	<ul style="list-style-type: none"> * Exploração * Bóias e sinalização offshore * Agitação do mar

Tabela 2

Considerações gerais para projeto de instalações portuárias

Condições locais	<ul style="list-style-type: none"> • Topografia • Batimetria; Sondagens • Dados subterrâneos: histórico geológico, propriedades do solo, profundidade de rochas, etc. • Sismicidade
Condições ambientais	<ul style="list-style-type: none"> • Meteorologia: normal e extrema, vento, precipitação pluvial, temperatura • Oceanografia/Fluviografia: ondas normais e extremas, maré, correnteza, gelo, propriedades físicas e químicas da água, seiches ou ondas portuárias, etc. • Frequência e probabilidade de tempestades
Considerações operacionais	<ul style="list-style-type: none"> • Dados dos navios: tamanho, tipos, frequência e tempo de ocupação na atracação, requisitos de cargas e serviços • Dados de veículos: tamanho, tipos, capacidade, dimensões de operação (raio de giro, etc) • Vias férreas: guindastes, carregadores, ferrovias, capacidades de carga, pesos, bitola, velocidade, alcance e tempo de retorno, etc. • Equipamentos especiais: cabeços de amarração, guinchos, cabestrantes, braços de carga, linhas de produtos, etc. • Serviços e utilidades, acesso ao continente, sistema de proteção à incêndios e equipamentos de segurança, iluminação e segurança, energia elétrica, instalações hidráulicas. • Área para armazenamento de cargas
Considerações funcionais	<ul style="list-style-type: none"> • Dragagem, correnteza e assoreamento, revolução do leito devido a hélice • Tráfego de navios e sistemas de controle de tráfego (VTS) • Acesso pela terra, isolamento, rodovias, aeroportos, etc. • Práticas de manutenção: proteção catódica, recuperação de danos, etc.
Considerações de navegabilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Larguras e profundidades de canais • Condições de aproximação de navios • Equipamentos de navegação • Disponibilidade de rebocadores
Restrições	<ul style="list-style-type: none"> • Linhas de atracação de portos e cais • Regulamentações: padrões de qualidade da água, vazamento de óleo, permissão para dragagem, ocupação, etc. • Permissões e licenças • Oferta de materiais e equipamentos • Instalações existentes: uso inadequado ou limitação de melhorias

**Figura 1**

Cargas generalizadas e fatores ambientais que afetam o projeto de um píer

Os esforços assim estimados servirão de base para verificar a estabilidade e dimensionar as estruturas de amarração.

Os esforços de amarração e atracação são essencialmente esforços horizontais ou com pequenas inclinações com o plano horizontal. No caso das estruturas de instalações portuárias esses esforços são absorvidos pela infraestrutura das mesmas, que são, na sua maioria, compostas por estacas ou estruturas de gravidade. Pode-se observar que os esforços devido à atracação e amarração dos navios dependem diretamente das características e dimensões dos mesmos, sendo, portanto, de fundamental importância a definição do tipo e dimensão do navio de projeto. Uma vez definidos os critérios a serem utilizados no desenvolvimento dos projetos de uma instalação portuária, deve-se definir qual código normativo deverá ser seguido nos cálculos e dimensionamentos da estrutura da mesma. Com tantas variáveis, incertezas e variações extremas dos esforços a serem considerados no dimensionamento de tais estruturas, fica evidente a fundamental importância da escolha do código normativo a ser utilizado como referência para elaboração do projeto.

Os portos brasileiros integram a infraestrutura necessária ao desenvolvimento econômico do país. O Brasil possui 7.367 km de linha costeira voltada para o Oceano Atlântico, que se ampliam para mais de 8.500 km considerando os recortes litorâneos (baías, enseadas, etc) (Alfredini e Arasaki, 2009, p. 3), além de aproximadamente 40.000 km de hidrovias (Moraes, 2008, p. 4). O índice unitário de custo energético do transporte aquaviário é muito inferior aos demais modais de transporte, apresentando uma nítida vantagem, além de ser muito mais eficiente em termos de redução na emissão de CO₂ (ver Tabela 3). Entretanto, o modal hidroviário é ainda pouco explorado no Brasil, mesmo sendo muito mais eficiente economicamente que os demais modais e com a grande oferta de vias navegáveis de que o país dispõe.

Neste contexto, pode-se notar a demanda por instalações portuárias que o país possui, levando em conta a extensa rede de hidrovias que ainda não é explorada. O Programa de Aceleração do Crescimento PAC2, do Governo Federal, prevê o investimento em 71 empreendimentos em 23 portos brasileiros para ampliar, recuperar e modernizar as estruturas visando uma redução nos custos logísticos, a melhora da eficiência operacional, aumento da competitividade das exportações e incentivo ao investimento privado. Um estudo realizado pela USP divulgado em 2014 (Infraestrutura Urbana, 2014) constatou que o valor de investimentos estimados necessários para ajustar a infraestrutura de transportes do Brasil até 2030 é de R\$ 1 trilhão. Embora o país demande elevado número de investimentos no setor portuário e no atual cenário econômico, a literatura técnica nacional sobre o projeto de estruturas portuárias é muito carente, conforme é apresentado no próximo capítulo, sendo de fácil

constatação que as obras didáticas existentes se ocupam, via de regra, dos aspectos hidrodinâmicos, de engenharia de costas ou aspectos operacionais, logísticos e ambientais dos portos. Para fortalecer este argumento cita-se que a norma brasileira sobre o tema, a NBR 9782:1987 – Ações em Estruturas Portuárias, Marítimas ou Fluviais, desde o ano de 1987, como citado na própria descrição, não passa por revisão, e o único livro técnico que aborda especificamente o projeto de estruturas de instalações portuárias no Brasil é o do Prof. Jayme Mason intitulado “Obras Portuárias” cuja última edição foi lançada em 1982.

Com a carência da literatura nacional sobre o assunto e com tantas referências normativas internacionais, julga-se de grande valia um estudo que apresente uma análise sobre os critérios de projeto de instalações portuárias, contribuindo assim para o desenvolvimento de estudos nessa área.

O objetivo geral deste trabalho foi apresentar um estudo sobre as ações de projeto a serem consideradas no dimensionamento e análise de instalações portuárias, com ênfase nas solicitações devido à amarração e atracação de embarcações, através da análise da literatura técnica voltada para o projeto deste tipo de obras, em dois momentos, primeiramente em publicações nacionais, seguido do estudo da literatura internacional, com ênfase nos códigos normativos. Evidentemente não houve a pretensão de se esgotar o estudo sobre as publicações deste tema, principalmente na literatura internacional, a qual é muito vasta sobre o assunto. Foram analisados também artigos técnico-científicos e trabalhos acadêmicos sobre as considerações de projetos de estruturas portuárias. Dentre os códigos normativos não analisados neste trabalho destacam-se a norma japonesa Technical Standards for Port and Harbour Facilities in Japan (Normas Técnicas para Portos e Instalações Portuárias no Japão), de 1991, e a espanhola Recomendaciones para Obras Marítimas (Programa ROM) (Programa de Recomendaciones para Obras Marítimas), de 1990, entre outras existentes sobre o tema.

Como objetivos específicos, buscou-se:

- Apresentar os principais aspectos de cálculo abordados pelos critérios normativos existentes para o projeto de instalações portuárias, estudando os métodos propostos (i) pela NBR 9782:1987 – Ações em Estruturas Portuárias, Marítimas ou Fluviais, (ii) pela BS 6349-1:2000 – Maritime structures – Part 1: Code of practice for general criteria (Estruturas Marítimas – Parte 1: Código de prática para os critérios gerais) e BS 6349-4:2014 – Maritime structures – Part 4: Code of practice for design of fendering and mooring systems (Estruturas Marítimas – Parte 4: Código de prática para projetos de sistemas de defensas e de amarração) (inglesa), (iii) pelo Recommendations of the Committee for Waterfront Structures Harbours and Waterways – EAU 2004 (Recomendações do Comitê para Estruturas de Acostagem, Portos e Hidrovias) (Alemanha), (iv) pela Permanent International Association of Navigation Congresses – PIANC 2002 (Associação Internacional Permanente dos Congressos de Navegação), além do (v) apresentado por Mason (Jaime, 1982) em sua publicação Obras Portuárias, restringindo-se à análise das cargas devido à amarração e atracação de embarcações, não tendo estudado os esforços devido a veículos, cargas devido ao gelo, sismos, etc, por exemplo;
- Realizar a aplicação dos métodos de cálculo em um estudo de caso de instalação portuária. O estudo de caso trata-se de uma linha de dolphins projetada para operar com navios de grandes vegetais sólidos com 60.000 TPB, compostos de bloco de concreto armado e estacas de concreto protendido com seção

Tabela 3
Comparação entre os principais modais de transporte

Modos de transporte	Índice unitário de custo energético	Emissão de CO ₂ ton/km (g)
Aquaviário	1	3
Ferroviário	3	20
Rodoviário	6 a 9	50
Aeroviário	15	550



Figura 2
Localização da linha de dolphins – detalhe dos afastamentos

circular vazada, onde foram analisados os resultados obtidos dando-se ênfase à comparação entre os métodos. São apresentados os esforços resultantes na infraestrutura dos dolphins devidos às solicitações calculadas pelos diversos métodos, de modo a permitir a análise da influência de cada um destes;

- Calcular os esforços de amarração e atracação para navios graneleiros com 5.000 TPB até 250.00 TPB para a criação de curvas Porte do Navio X Esforços para cada referência normativa, com o intuito de melhor visualizar a dispersão dos resultados obtidos para cada método;
- Apresentar, ao final do trabalho, subsídios que buscam fornecer auxílio na escolha do método de cálculo a ser utilizado no projeto de uma instalação portuária, em termos de esforços de amarração e atracação.

2. Metodologia de estudo

Realiza-se o estudo dos métodos de cálculo para esforços de amarração a atracação segundo as referências citadas acima, quais são o proposto por Mason (1982), o método da NBR

9782:1987, o da BS 6349-4:1994, o da EAU 2004 e as recomendações da PIANC. Em seguida é feita uma análise sobre os principais aspectos da cada um dos métodos e efetuada a aplicação dos mesmos em um estudo de caso de instalação portuária.

O estudo de caso trata-se de uma linha de dolphins projetada para operar com navios de granéis vegetais sólidos com 60.000 TPB, compostos de bloco de concreto e estacas de concreto protendido com seção circular vazada. São apresentados os esforços resultantes na infraestrutura dos mesmos devidos às solicitações calculadas pelos diversos métodos.

A seguir é realizada uma análise dos resultados obtidos dando ênfase à comparação entre os métodos, buscando fornecer subsídios que permitam auxiliar na escolha do método de cálculo a ser utilizado no projeto de uma instalação portuária, em termos de esforços de amarração e atracação.

Posteriormente é realizado o cálculo dos esforços de amarração e atracação para navios com porte de 15.000 TPB até 280.00 TPB para a criação de curvas Porte do Navio X Esforços para cada referência normativa, com o intuito de melhor visualizar a dispersão dos resultados obtidos para cada método.

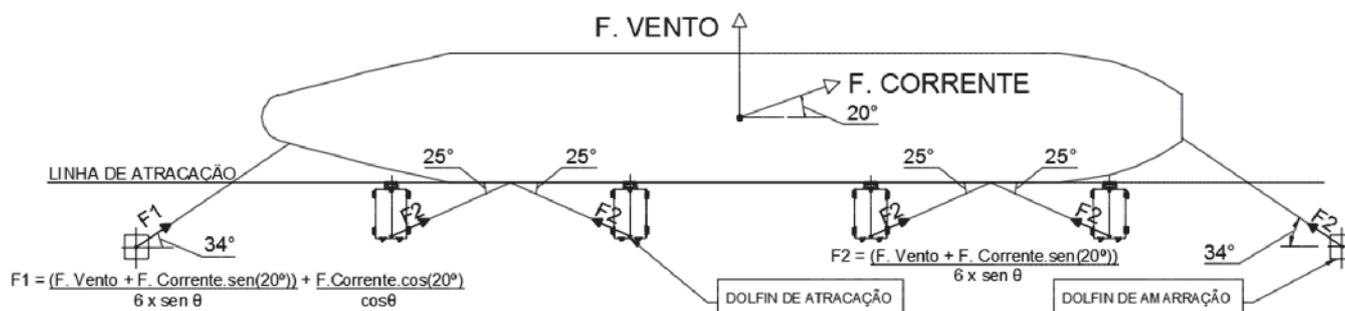


Figura 3
Caso de carga 1 na amarração do navio

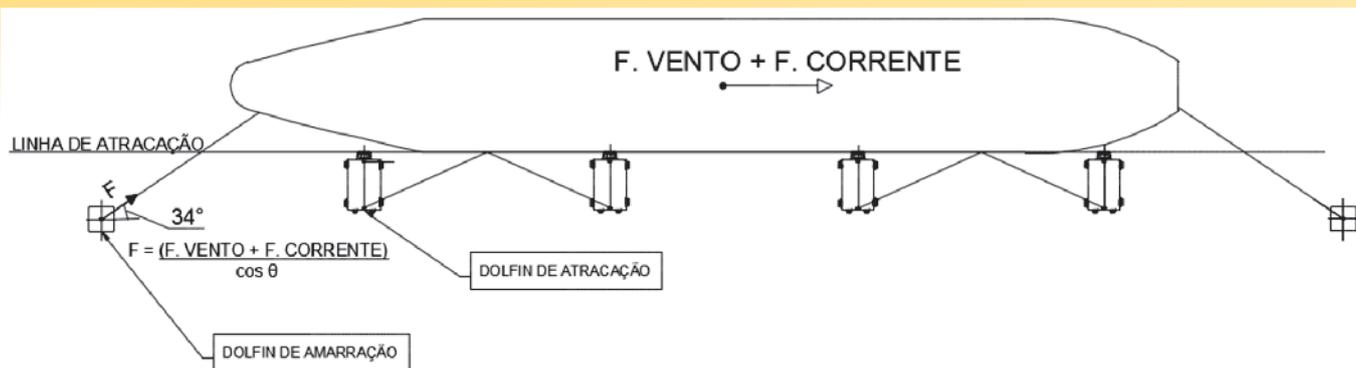


Figura 4
 Caso de carga 2 na amarração do navio – Configuração 1

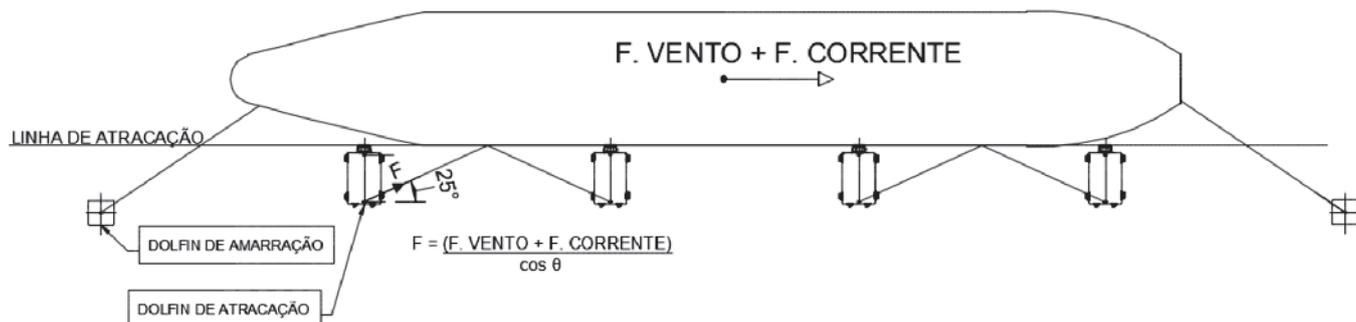


Figura 5
 Caso de carga 2 na amarração do navio – Configuração 2

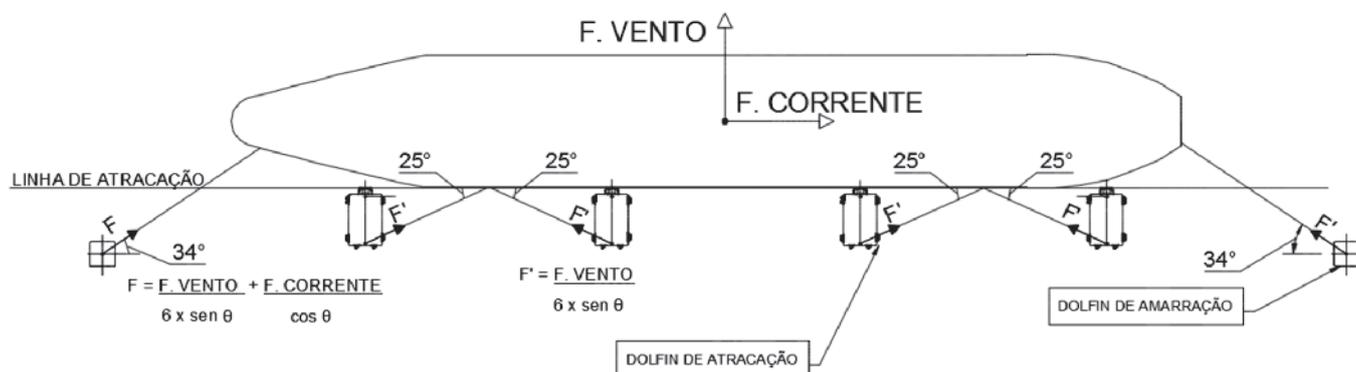


Figura 6
 Caso de carga 3 na amarração do navio

3. Resultados e discussões

O estudo de caso deste trabalho refere-se a uma instalação portuária fluvial, integrante de um terminal concebido para operar com a movimentação de grãos sólidos de origem vegetal (soja e milho), recebendo o produto por via rodoviária e expedindo-o através de navios, e ser implantado às margens do Rio Amazonas na cidade de Santarém – PA.

De acordo com a concepção do recebimento de cargas do terminal, este possuirá 1 (um) berço para atracação de navios graneleiros do tipo Panamax de 60.000 TPB e 12,00 m de calado, composto por 4 (quatro) dolfin de atracação e 2 (dois) dolfin de amarração, dispostos em linha (ver Figura 2). Para esta configuração, considerou-se no projeto conceitual a utilização de 3 (três) torres de carregamento com capacidade nominal de 3.000 t/h.

A direção da correnteza do Rio Amazonas é alinhada com a linha

de dolfin, entretanto, para obtenção dos esforços de amarração adotou-se uma inclinação na direção da corrente de 20° com o eixo longitudinal do navio, conforme recomendação mínima da NBR 9782. Para tanto, foram estabelecidos 5 (cinco) casos de cargas distintos, para os quais foram consideradas as diversas possibilidades de ocorrência das combinações do vento e da corrente. O vento foi considerado atuando na direção longitudinal e transversal ao navio, em momentos distintos. Para a corrente, assumiu-se a incidência desta em dois momentos distintos, quais sejam (i) na direção longitudinal ao navio e (ii) com uma inclinação de 20° com o eixo longitudinal do navio. Quando a corrente atua na direção inclinada a 20° com o eixo longitudinal do navio, são consideradas as componentes transversal e longitudinal da força devida à corrente na realização dos cálculos dos esforços resultantes. Estabeleceu-se um esquema de amarração de referência para os navios que atracarão nos dolfin, que, por sua vez, permitiu obter as

inclinações horizontais e verticais dos cabos de amarração. As inclinações horizontais dos cabos dependem deste esquema de amarração adotado, e as inclinações verticais dependem deste esquema de amarração, do NA do rio e da condição de carregamento do navio. A seguir apresentam-se estas inclinações obtidas. Para as inclinações verticais, foram consideradas as situações do navio vazio e totalmente carregado, combinadas com o NA máximo e mínimo do rio.

A Figura 3 apresenta o Caso 1 da amarração, no qual se considera a força do vento atuando na direção transversal ao navio e a força da correnteza atuando em uma direção inclinada a 20° do eixo longitudinal do navio. Neste caso, a força do vento e a componente transversal da corrente são divididas em 6 (seis) cabeços de amarração, e a componente longitudinal da corrente é lançada em um cabo apenas, qual seja o lançante de proa, ligado a um dolfin de atracação.

A Figura 4 apresenta o Caso 2 da amarração, no qual se consideram as forças do vento e da correnteza atuando na direção longitudinal ao navio, lançadas em 1 (um) cabeço de amarração, na sua Configuração 1, que considera os esforços lançados no cabeço de um dolfin de amarração.

A Figura 5 apresenta o Caso 2 da amarração na sua Configuração 2, que considera os esforços lançados no cabeço de um dolfin de atracação.

A Figura 6 apresenta o Caso 3 da amarração, no qual se adota a força do vento atuando na direção transversal ao navio, dividida em 6 (seis) cabeços de amarração e a força da correnteza atuando na direção longitudinal ao navio, lançada em 1 (um) cabeço de um dolfin de amarração.

A Figura 7 apresenta o Caso 4 da amarração, no qual se considera a força do vento atuando na direção transversal ao navio, em sentido invertido (empurrando os dolfins), e a força da correnteza atuando em uma direção inclinada a 20° do eixo longitudinal do navio. Neste caso, a força do vento e a componente transversal da corrente (que empurram os dolfins) são divididas em 2 (dois) dolfins de atracação e a componente longitudinal da corrente é lançada em um cabo apenas, qual seja o lançante de proa, ligado a um dolfin de atracação.

A Figura 8 apresenta o Caso 5 da amarração, no qual se considera a força do vento atuando no sentido transversal ao navio, em

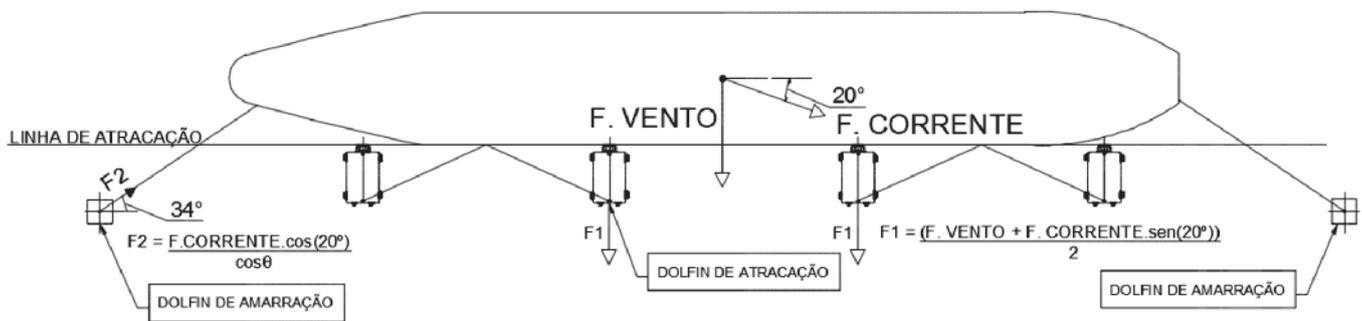


Figura 7
Caso de carga 4 na amarração do navio

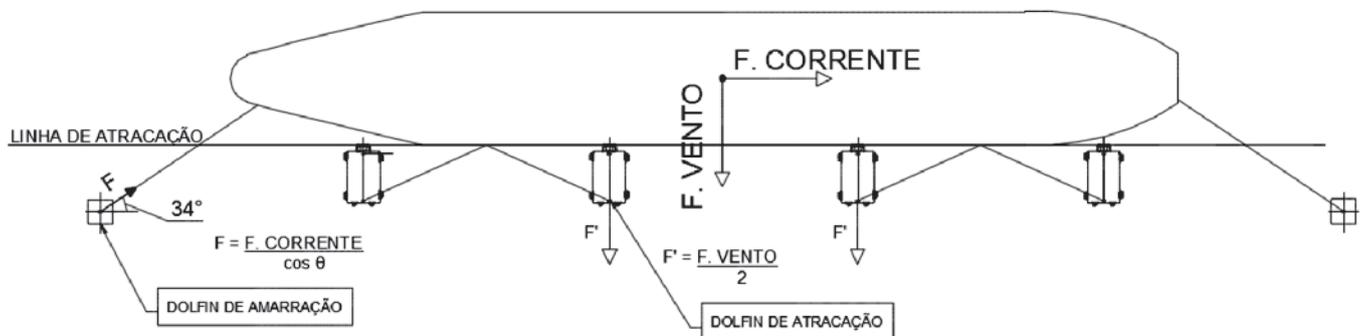


Figura 8
Caso de carga 5 na amarração do navio

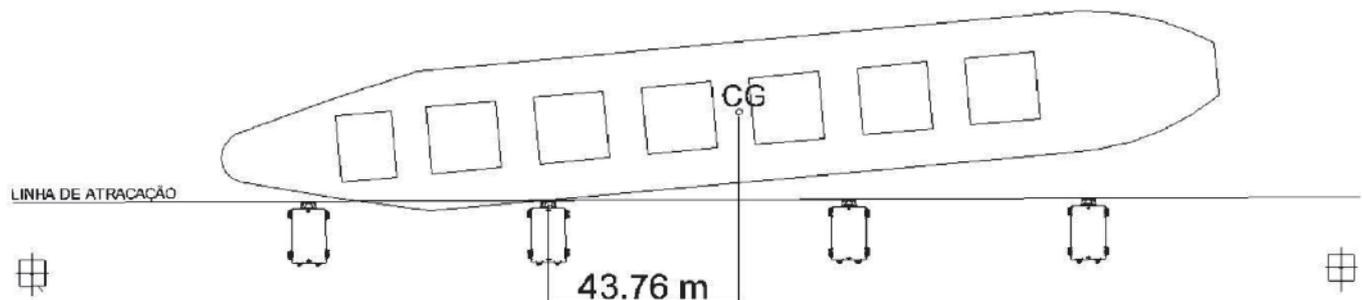


Figura 9
Simulação da atracação do navio nos dolfins

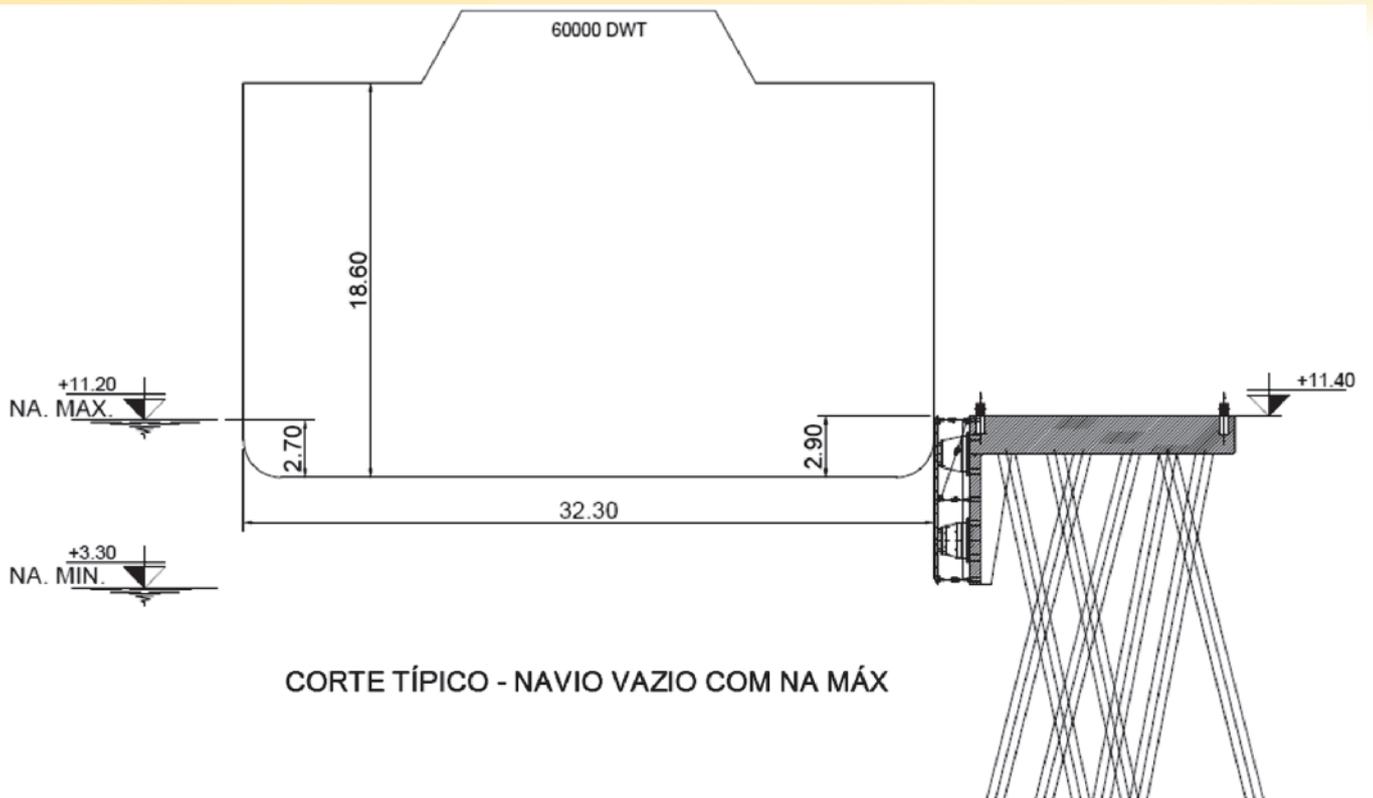


Figura 10
Corte transversal na situação do navio vazio com NA máx

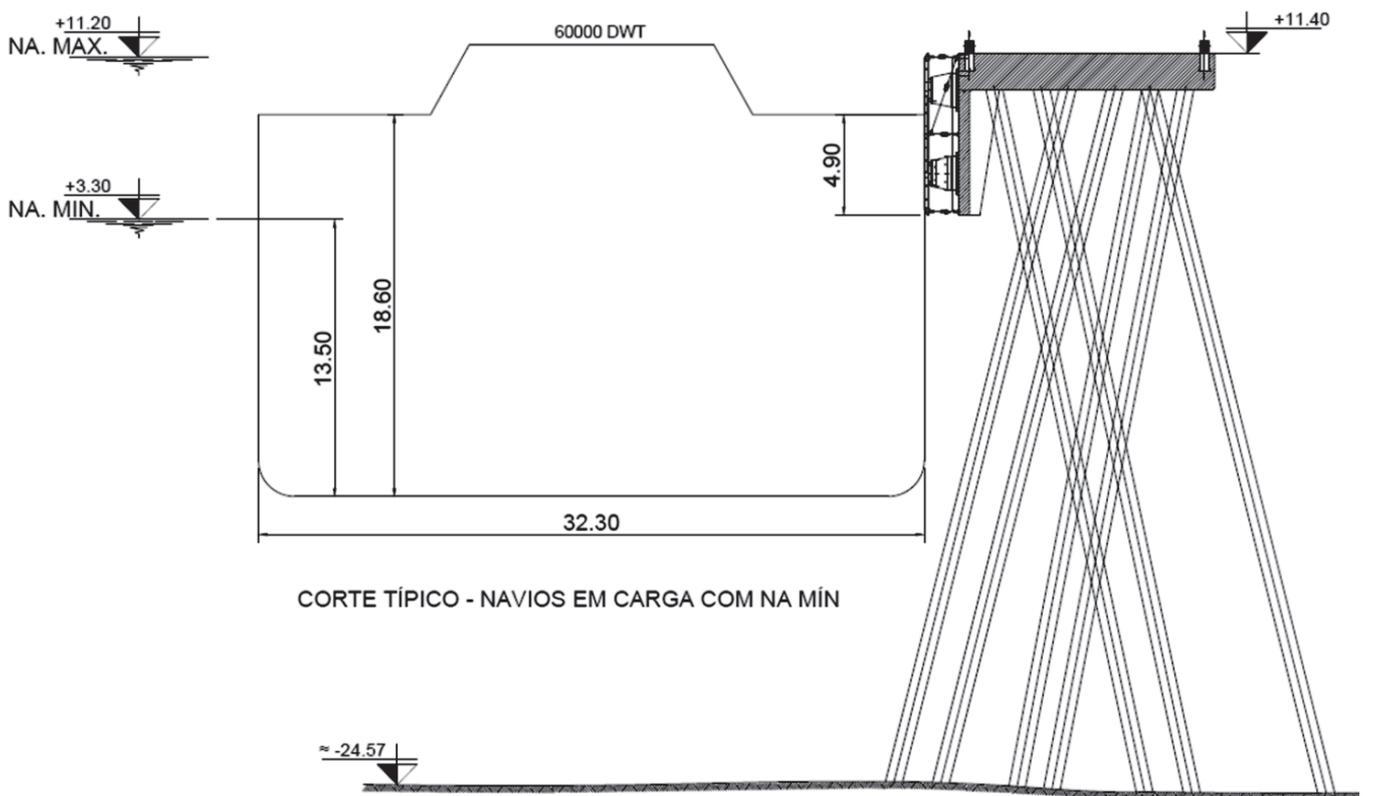


Figura 11
Corte transversal na situação do navio em carga com NA mín

sentido invertido (empurrando os dolphins), dividida em 2 (dois) dolphins de atracação e a força da correnteza atuando no sentido longitudinal ao navio, lançada em 1 (um) cabeça de um dolphin de amarração.

Para a obtenção dos esforços de atracação, foi adotada uma simulação da atracação do navio na linha de dolphins, a qual serviu como base para cálculo do coeficiente de excentricidade C_E utilizado nos cálculos da energia de atracação, conforme apresentado na Figura 9.

A Figura 10 e a Figura 11 apresentam as vistas dos cortes transversais para as situações críticas para as defensas, quais sejam o navio vazio com o NA máximo e o navio em carga com o NA mínimo.

3.1 Esforços de amarração

As Figuras 12 e 13 apresentam os esforços de amarração resultantes

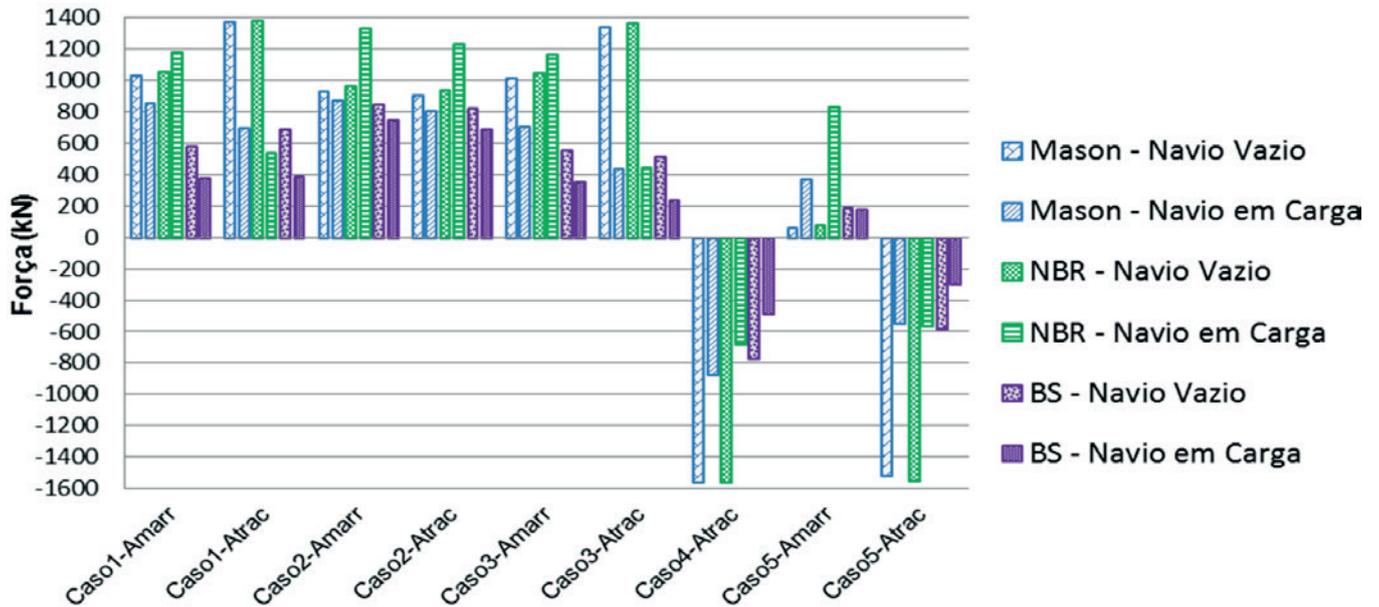


Figura 12
Esforços de amarração p/ NA Máx, por método

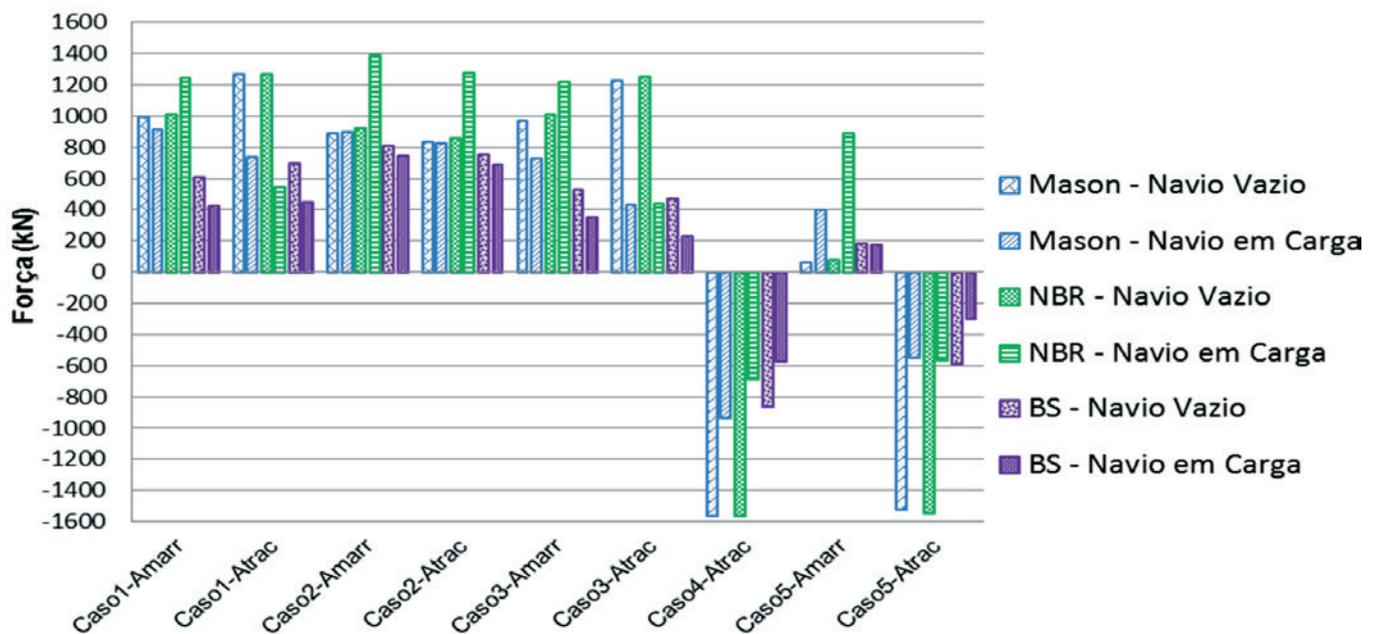


Figura 13
Esforços de amarração p/ NA Mín, por método

Tabela 4

Maximum loads on dolphins due to mooring for each cable gradient or position, by method

Cargas máximas (kN)					
Dolphin / Método	Posição/Inclinação do cabo de amarração ou carga				
	A : NA Máx navio vazio	B: NA Máx navio em carga	C: NA Mín navio vazio	D: NA Mín navio em carga	E: horizontal invertido
Dolphins de amarração / Envoltória	1053,53	1336,26	1013,53	1394,48	-
Dolphins de atracação / Envoltória	1379,34	1230,77	1267,38	1280,41	-1559,00
Dolphin atracação / Mason	1378,22	802,56	1267,38	825,61	-1557,00
Dolphin atracação / NBR 9782	1379,34	1230,77	1266,35	1280,41	-1558,00
Dolphin atracação / BS 6349	826,24	691,90	758,56	688,68	-775,13

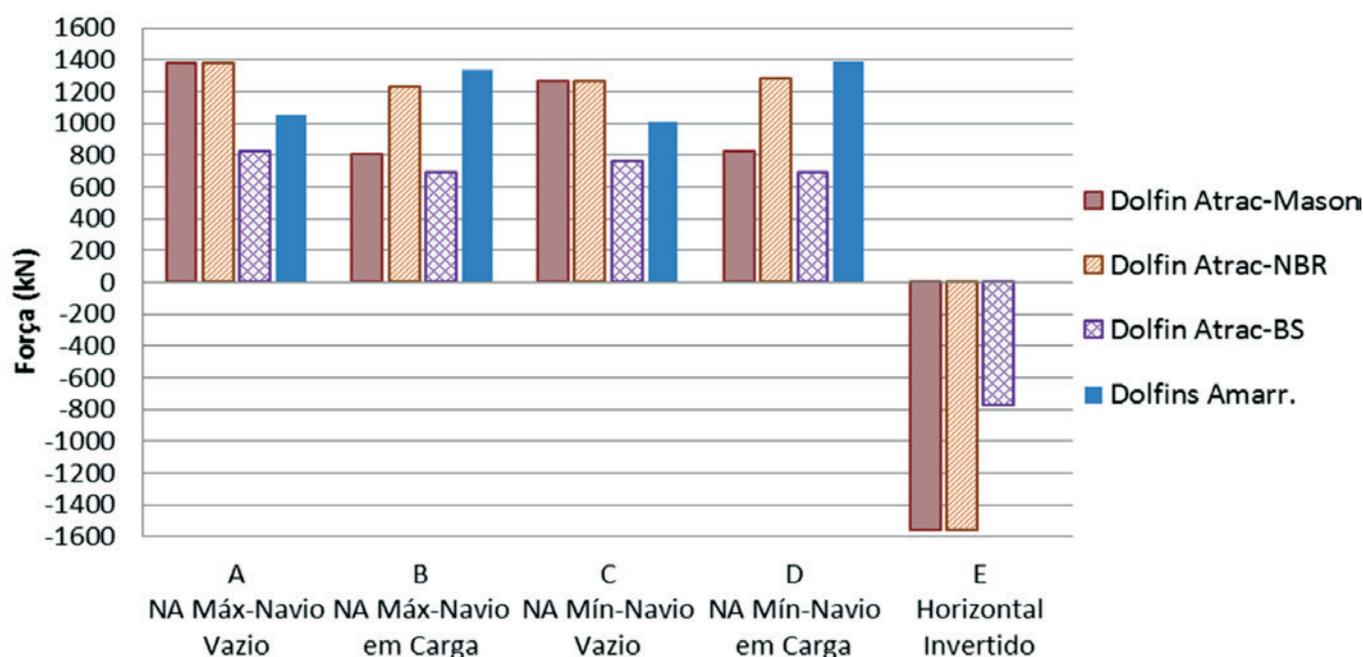


Figura 14

Cargas máximas nos Dolphins devido à amarração para cada inclinação de cabo ou posição, por método

para cada método estudado, por caso de carga e tipo de dolphin. Os cálculos foram efetuados para duas situações extremas, quais são a com o NA máximo e com o NA mínimo no rio. No eixo horizontal das referidas figuras, a identificação da amostra refere-se ao caso de amarração em estudo (Caso 1, Caso 2, etc) seguido da identificação do dolphin analisado, isto é, dolphin de amarração ou de atracação.

Estes resultados representam a força no cabo de amarração já considerando as suas inclinações horizontais e verticais, com exceção das colunas denominadas “Caso4-Atrac” e “Caso 5-Atrac” onde o resultado representa a força aplicada diretamente no dolphin de atracação com o sentido oposto àquele das forças nos cabos, razão pela qual são representados com o sinal negativo.

Analisando as Figuras 12 e 13 pode-se observar que o método da NBR 9782 conduz aos maiores resultados de esforços de amar-

ração em termos de esforço máximo para cada caso de carga, tendo sido obtido o maior esforço em um cabo de amarração para o Caso 2 no Dolphin de Amarração para a situação do NA mínimo com o navio vazio.

Os resultados fornecidos pelo método apresentado por Mason (1982) ficam, em geral, muito próximos aos resultados obtidos pelo método da NBR 9782. Já os resultados obtidos pelo método da BS 6349 conduzem aos menores resultados, com exceção do Caso 5 para o dolphin de amarração na situação do navio vazio, isto porque esta referência não diferencia, para o cálculo da força devida à corrente, as situações do navio vazio da do navio em carga. A Tabela 4 e a Figura 14 apresentam os resultados das cargas máximas obtidas para cada situação de posição da carga solicitante estudadas, para cada método, nos dolphins de atracação, isto é, o maior esforço obtido dentre os cinco casos de carga estudados

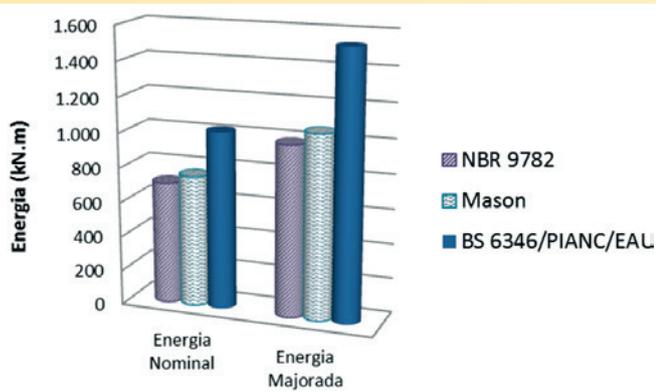


Figura 15
Energia de atracação calculada por método

na amarração do navio para cada posição de atuação da carga considerada (NA Máx. com Navio Vazio, NA Máx. com Navio em Carga, etc), e a carga máxima obtida entre os três métodos para o delfim de amarração. Pode-se observar que em todos os casos os resultados obtidos pelo método da BS 6349 são os menores obtidos. O método da NBR 9782 conduz aos maiores resultados para as situações do navio em carga, seguido do resultado obtido pelo método apresentado por Mason (1982). Já para os casos do navio vazio e Horizontal Invertido os resultados obtidos pelo método da NBR 9782 e pelo apresentado por Mason (1982) são praticamente iguais.

3.2 Esforços de atracação

A Figura 15 apresenta os resultados da energia de atracação calculada para cada método estudado.

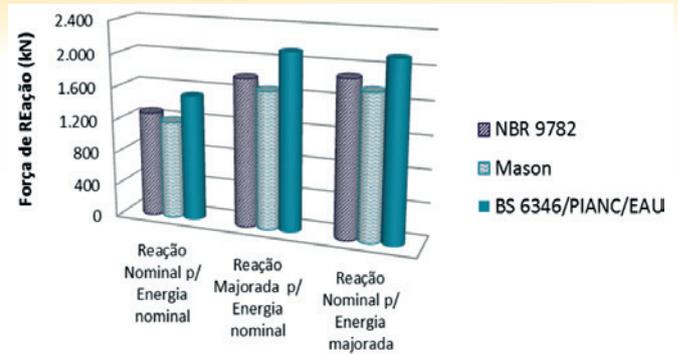


Figura 16
Forças de reação devidas à atracação por método

Para absorver a energia nominal máxima foi adotado um sistema de defensas tipo Cônica SCN 1300H - E1.9 ($E_r=1023$ kN.m ; $R_r=1522$ kN) e para a energia majorada máxima um sistema de defensas tipo Cônica SCN 1400H - E2.7 ($E_r=1554$ kN.m ; $R_r=2141$ kN).

A Figura 16 apresenta as forças de reação oriundas de cada energia calculada para três situações, quais sejam a Reação Nominal para a Energia Nominal, a Reação Majorada para a Energia Nominal e a Reação Nominal para a Energia Majorada.

Analisando os resultados dos esforços de atracação apresentados nas Figuras 15 e 16, podem-se destacar as observações a seguir. O método de cálculo da BS 6349 (PIANC/EAU 2004) conduz a resultados de energia de atracação nominal superiores ao demais método, ficando 45,2 % maior que o resultado fornecido pela NBR 9782 e 35 % maior que o apresentado por Mason (1982), para as energias de atracação nominais.

Para as energias de atracação majoradas pelos respectivos

Esforços devidos à Amarração X TPB Navios Graneleiros 95%

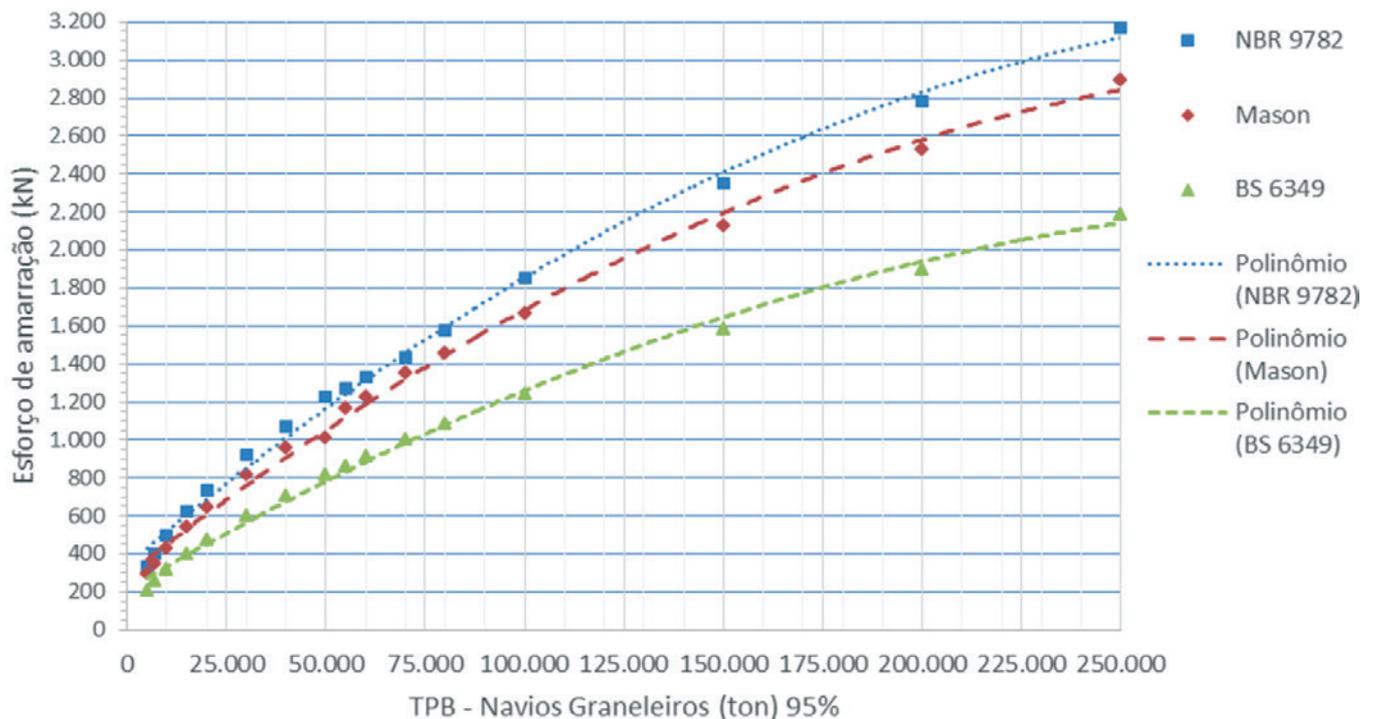


Figura 17
Esforços de amarração X TPB do Navio

coeficientes de cada referência, as diferenças entre o resultado fornecido pela BS 6349 para o resultado fornecido pela NBR 9782 e por Mason (1982) são de 55,6 % e 44,6 %, respectivamente. Em termos de força de reação, considerando as reações oriundas do sistema de defensas adotado para a obra e o seu respectivo diagrama de energia, as diferenças entre o resultado fornecido pela BS 6349 para o resultado fornecido pela NBR 9782 e por Mason (1982) são de 19,0 % e 28,2 %, respectivamente, para a reação devida à energia nominal. Para a reação devida à energia majorada, estas diferenças caem para 13,6 % sobre o resultado fornecido pela NBR 9782 e 22,0 % sobre o resultado obtido por Mason (1982).

Considerando os valores obtidos nas duas situações a saber: (i) reação majorada do coeficiente adotado pela referência, oriunda da energia de atracação nominal, e (ii) reação nominal oriunda da energia de atracação majorada do coeficiente adotado pela referência; pode-se observar que a diferença entre estes valores obtidos através do método da BS 6349 é de 0,479 %, através do método da NBR 9782 é de 5,263 % e através do método apresentado por Mason (1982) é de 5,631 %. Tendo em vistas estas pequenas diferenças resultantes, nota-se que é mais interessante adotar a defesa que foi selecionada para a energia de atracação majorada, pois assim garante-se um fator de segurança sobre o dimensionamento da defesa e também sobre o dimensionamento da estrutura da instalação portuária.

Ressalta-se que embora a energia de atracação obtida pelo método da NBR 9782 tenha sido a menor entre as três, a força de reação oriunda desta energia é a segunda maior, ficando acima do valor obtido pelo método apresentado por Mason (1982). Isto se deve ao diagrama de energia da defesa adotada, que conduz a reações maiores para o nível de energia obtido pelo método da

NBR 9782 do que aquelas obtidas para a energia oriunda do método apresentado por Mason (1982).

3.3 Esforços de Amarração e Energia de Atracação X Porte do Navio

Nesta seção são apresentados gráficos com informações sobre a energia de atracação e esforços de amarração nominais calculados de acordo com cada método, em função do porte do navio, para navios graneleiros de 5.000 TPB a 250.000 TPB, de modo a permitir uma melhor visualização dos resultados obtidos para cada método. Estes esforços foram obtidos a partir do cálculo para cada navio estudado aplicado ao mesmo estudo de caso da linha de dolphins.

A Figura 17 apresenta os resultados dos esforços de amarração obtidos nos cálculos. O resultado aqui apresentado representa o maior valor obtido entre as 4 (quatro) situações de combinação do NA do rio com a situação de carga do navio estudados, não sendo representado o resultado oriundo dos casos em que o navio empurra o dolphin, tendo em vista que a força de reação devida à atracação supera este valor.

Observar-se que o método da NBR 9782 conduz aos maiores resultados entre os três métodos estudados, seguido do método apresentado por Mason (1982), que fornece resultados em média 11 % menores que os da NBR 9782. O método da BS 6349 fornece os menores resultados, os quais são, em média, 33 % menores que os fornecidos pelo método da NBR 9782.

A Figura 18 apresenta os resultados da energia de atracação nominal obtida para cada método, em cada navio estudado. Para a energia de atracação, observa-se que o método de cálculo da BS 6349 fornece os maiores resultados, sendo estes em média

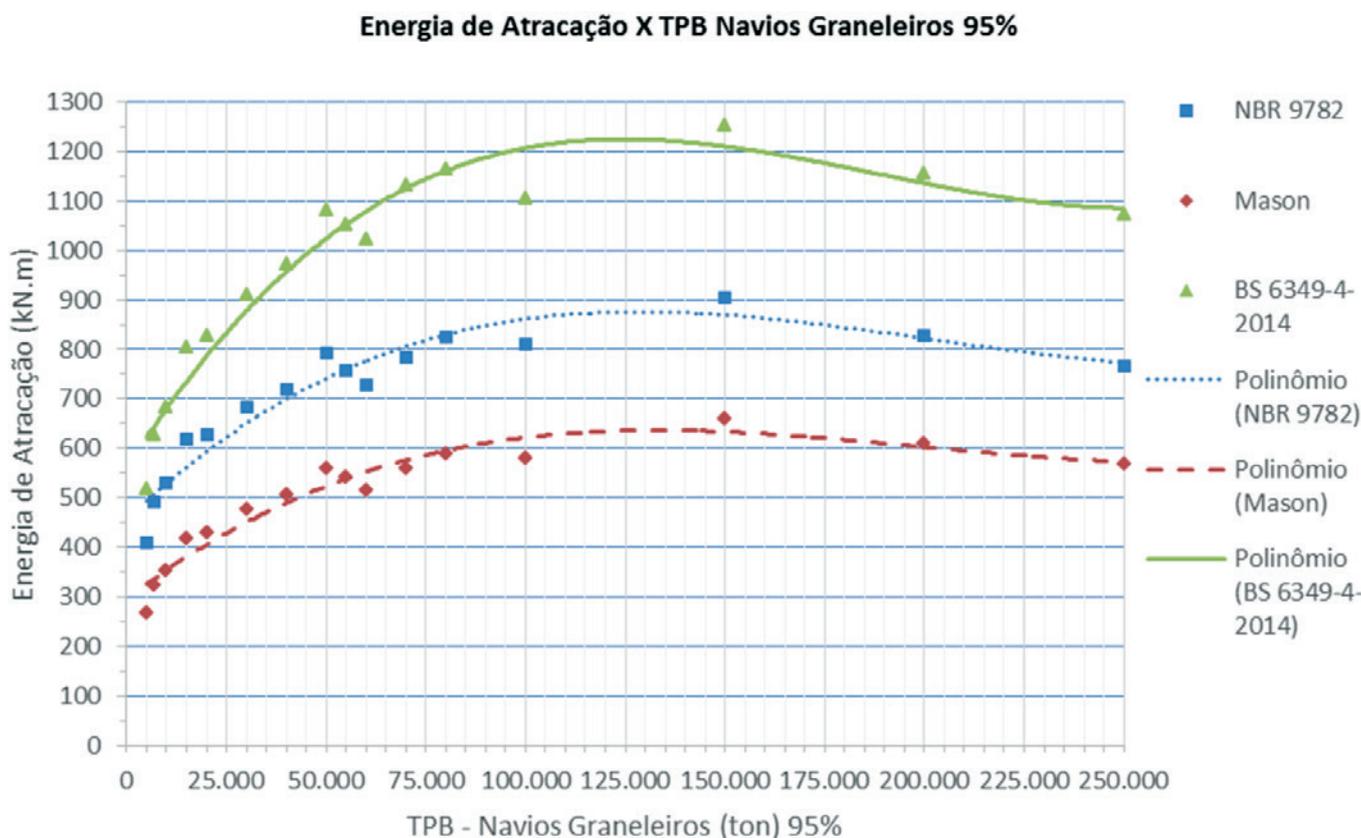


Figura 18 Energia de atracação nominal X TPB do Navio

36 % maiores que os fornecidos pelo método da NBR 9782 e 93 % maiores que aqueles fornecidos pelo método apresentado por Mason (1982).

Nota-se que o aumento do porte do navio não necessariamente aumenta a energia de atracação, pois com o aumento do porte do navio deve-se reduzir a velocidade de atracação até o limite de 0,08 m/s para navios a partir de 240.000 TPB. Isto pode ser observado a partir das energias obtidas para navios a partir de 40.000 TPB.

Uma razão que possa justificar a diferença obtida entre resultados fornecidos pelas normas europeias e os resultados fornecidos pelo método da NBR 9782 e pelo proposto por Mason (1982), é o fato de que as normas europeias são atuais e consideraram o avanço da indústria naval, que permitiu, por sua vez, a construção de navios com capacidade de carga maiores que os existentes à época da elaboração da norma brasileira e da realização do estudo de Mason (1982).

Ressalta-se que nos cálculos realizados para obtenção do gráfico apresentado na Figura 18 foram utilizados os mesmos parâmetros para os três métodos, de modo a analisá-los sem a influência de mudança de parâmetros externos ao método, como por exemplo, a velocidade de aproximação do navio. Este comentário visa esclarecer a diferença do resultado da energia de atracação calculada pelo método proposto por Mason (1982) mostrada no gráfico para o navio com 60.000 TPB daquele apresentado Figura 15, visto que no cálculo mostrado no referido item foram consideradas as recomendações do autor para a velocidade de aproximação e do coeficiente de redução, que conduziram a um resultado superior ao apresentado aqui.

4. Conclusões

Para os esforços de amarração observou-se uma grande dispersão nos resultados apresentados pelos métodos estudados. Os resultados obtidos no estudo de caso para este tipo de esforço pelo método da NBR 9782 e pelo método apresentado por Mason (1982) forneceram resultados próximos entre si. Os resultados obtidos através do método da BS 6349 forneceram resultados em média 44 % menores que os obtidos pelos outros métodos, para o estudo de caso. No estudo da curva Esforços devidos à Amarração X TPB do navio, os resultados obtidos pelo método da NBR 9782 forneceram os maiores resultados, sendo em média 12 % maiores que aqueles obtidos pelo método apresentado por Mason (1982) e 51 % maior que os resultados fornecidos pelo método da BS 6349, que forneceu os menores resultados.

Julga-se necessário calcular os esforços de amarração segundo as 3 (três) referências e adotar os maiores resultados, em uma análise mais conservadora, visto que a consideração dos coeficientes de forma para as forças de vento e corrente podem variar em uma faixa de valores que podem conduzir a resultados de até 2 vezes os resultados inferiores. A norma brasileira NBR 9782 mostrou-se a mais conservadora, fornecendo os maiores resultados para os esforços de amarração, sendo avaliada como a mais adequada quando da intenção de se elaborar um projeto que considere reduzidos riscos de acidente. Julga-se necessário ainda, quando possível, a realização de estudos em modelos reduzidos para estimar as forças devidas à amarração e ajustar os coeficientes de forma resultantes.

Para os esforços de atracação pôde-se verificar que o método proposto pelas normas europeias (BS 6349, PIANC e EAU 2004) conduzem a valores significativamente superiores aos métodos propostos pela NBR e por Mason, sendo o valor obtido pelo método da NBR o menor entre os três, para o estudo de

caso. No estudo da curva Energia de Atracação X TPB do Navio, os resultados obtidos pelo método da NBR 9782 fornecem resultados em média 26 % menores que aqueles obtidos pelas normas europeias, enquanto que para os resultados obtidos pelo método apresentado por Mason (1982) a diferença é de 48 % em média, em termos de energia de atracação. Pôde-se auferir que é mais interessante adotar o sistema de defensas que foi selecionado para a energia de atracação majorada, pois assim garante-se um fator de segurança sobre o dimensionamento das defensas e também sobre o dimensionamento da estrutura da instalação portuária. Deste modo, julga-se mais apropriado utilizar as normas europeias para o cálculo da energia de atracação e para o dimensionamento do sistema de defensas, tendo em vista os resultados obtidos e o fato de serem normas atuais, a exemplo da inglesa BS 6349-4 cuja última versão é de 2014.

Em termos de esforços internos nos elementos estruturais, pôde-se observar que embora o método da norma inglesa BS 6349 conduza às menores forças de amarração calculadas, devido à geometria dos dolphins e à direção das cargas de amarração e atracação, as maiores forças axiais de compressão são ocasionadas pela reação oriunda da energia de atracação calculada pelo método da BS 6349, e as forças resultantes da amarração calculadas pelo método da norma NBR 9782 e pelo método apresentado por Mason (1982) causam os maiores esforços de tração nas estacas, sendo quase alcançados pelos esforços causados pela reação oriunda da energia de atracação calculada pelo método da BS 6349.

5. Referências bibliográficas

- [1] ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 9782:1987 – Ações em Estruturas Portuárias, Marítimas ou Fluviais. Rio de Janeiro, 1987.
- [2] ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.
- [3] ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- [4] Alfredini, Paolo. Obras e gestão de portos e costas: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental / Paolo Alfredini, Emilia Arasaki – 2ª ed. – São Paulo: Blucher, 2009.
- [5] Amador Júnior, Wellington José. Projeto do Pier de um Terminal de Contêineres – Estudo de Caso. 2006. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.
- [6] Amendola, Guilherme Guerra. Projeto Conceitual e Análise do Estaqueamento de um Pier. 2010. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.
- [7] Blok, J.J.; Brozius, L.H.; Dekker, J.N. The Impact Loads of Ships Colliding With Fixed Structures. In: 15th Annual OTC in Houston, Texas, 1983. Proceedings. Offshore Technology Conference, 1983. p. 231-240.
- [8] British Standard. BS 6349-4:2014 - Maritime structures — Part 4: Code of practice for design of fendering and mooring systems (Reino Unido).
- [9] Christan, Priscila de. Estudo da interação solo-estaca sujeito a carregamento horizontal em ambientes submersos. 2012. 192 f. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Curitiba, 2012.
- [10] CopabInfra. Catálogo técnico de defensas, 2013.

- [11] Costa, Vasco. The berthing ship. The effect of impact on the design of fenders and other structure. The Dock and Harbour Authority, 1964.
- [12] Davisson, M. T.; Robinson, K. E. Apud Veloso, Dirceu Alencar. Fundações, volume 2 : fundações profundas / Dirceu de Alencar Veloso, Francisco de Rezende Lopes. – Nova Ed. – São Paulo : Oficina de Textos, 2010.
- [13] Dynamis Techne, Acervo Técnico, 2013.
- [14] Fanti. Fábio Dollinger. Concepção, métodos construtivos e dimensionamento de terminais para contêineres. 2007. 171 f. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
- [15] Gaythwaite, John. Design of marine facilities for the berthing, mooring, and repair of vessels / John W. Gaythwaite. – [2nd ed.]. Reston: American Society of Civil Engineers, 2004.
- [16] Governo Federal. PAC2. Disponível em <<http://www.pac.gov.br/transportes/portos>>. Acesso em 03/12/2014.
- [17] Huang, Erick T.; Chen, Hamm-Ching. Ship Berthing at a Floating Pier. In: The Thirteenth (2003) International Off-shore and Polar Engineering Conference, 2003, USA. Proceedings. Honolulu, Hawaii, USA, 2003. p. 683-690.
- [18] Jiang, Chen-wen; Javana, Richard C. An Analytical Technique for Ship-Fender Interaction. Report of Office of Naval Research. Arlington, Virginia, 1983.
- [19] Leal, Miguel de Mira Godinho Grego. Dimensionamento de Defensas Marítimas. 2011. 151 f. Dissertação de Mestrado – Universidade do Porto, Porto – Portugal, 2011.
- [20] Ligteringen, H. Ports and Terminals / H. Ligteringer, H. Vel-sink – 1st ed. – Delf: VSSD, 2012.
- [21] Mason, Jayme. Obras portuárias / Jayme Mason. – 2ª ed. – Rio de Janeiro: Campus, 1982.
- [22] Natarajan, R.; Ganapathy, C. Analysis of Moorings of a Berthed Ship. In: Marine Structures 8 (1995). p. 481-499. Elsevier Science Limited. ISSN 0951-8339/95.
- [23] PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses. Guidelines for the Design of Fender Systems: 2002. Report of Working Group 33 of the Maritime Navigation Commission, 2002.
- [24] Pulsar Marine. Catálogo técnico de defensas, 2014.
- [25] Recommendations of the Committee for Waterfront Structures Harbours and Waterways – EAU 2004 (Alemanha), 2004.
- [26] Revista Infraestrutura Urbana. PINI. Disponível em <<http://www.infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/Transporte/estudo-da-usp-aponta-que-brasil-deve-investir-1-327071-1.aspx>>. Acesso em 22/09/2014.
- [27] Sakakibara, Shigeki; Kubo, Masayoshi. Ship berthing and mooring monitoring system by pneumatic-type fenders. Ocean Engineering 34 (2007) 1174–1181.
- [28] Santos, Paulo Rosa; Pinto, Francisco Taveira; Gomes, Fernando Veloso. Experimental evaluation of the tension mooring effect on the response of moored ships. Coastal Engineering 85 (2014) 60–71. Contents lists available at ScienceDirect.
- [29] Schellin, T. E.; Østergaard, C. The Vessel in Port: Mooring Problems. Marine Structures 8 (1995) 451-479. Elsevier Science Limited. ISSN 0951-8339/95.
- [30] Sumitomo. Rubber Marine Fenders. Catálogo técnico de defensas, 2013.
- [31] Thoresen, Carl A. Port designer's handbook / Carl A. Thoresen. - [2nd ed.]. – London: Thomas Telford Limited, 2010.
- [32] Trelleborg Marine Systems. Section 12 – Fender Design. Catálogo técnico de defensas, 2011.