

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE – UFF  
FACULDADE DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DINÂMICA DOS OCEANOS E  
TERRA

**MARIANA DE CASTRO MICHIMOTO**

ASPECTOS RELATIVOS A FOLGA ABAIXO DA QUILHA DE NAVIOS  
COM ENFOQUE NOS PARÂMETROS OPERACIONAIS PORTUÁRIOS  
VERTICAIS

Orientador: Arthur Ayres Neto

UNIVERSIDADE  
FEDERAL  
FLUMINENSE

Niterói  
2019

# ASPECTOS RELATIVOS A FOLGA ABAIXO DA QUILHA DE NAVIOS COM ENFOQUE NOS PARÂMETROS OPERACIONAIS PORTUÁRIOS VERTICAIS

**MARIANA DE CASTRO MICHIMOTO<sup>1</sup>**

## **RESUMO**

O objetivo deste trabalho versa sobre a utilização da camada da lama fluida para formulação de parâmetros operacionais portuários tanto para um porto novo, quanto para adequação de um já existente. Conhecer as propriedades reológicas e como a camada lamosa se comporta poderá possibilitar a navegação de navios cujas dimensões teoricamente estariam restritivas à navegação, possibilitando melhor aproveitamento operacional e aumento da janela operacional de um porto, minimizando os custos com dragagens de manutenção ou aprofundamento. Dessa maneira, pretende-se apresentar os principais aspectos para avaliação dos parâmetros operacionais, em especial, o vertical, pois nele é que se considera a lama fluida e está incluída no conceito de “profundidade náutica”. As regras de boas práticas do Relatório PIANC (2014) indicam cálculos a serem considerados para determinar a Folga Abaixo da Quilha (FAQ) dos navios. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) tem discutido o esse assunto e reformulando a Norma ABNT NBR 13246 (1995) que trata do assunto. Um porto que possui vias navegáveis que atendem à segurança da navegação contribui para a garantia do avanço de um País em âmbito econômico, uma vez que mitiga possíveis acidentes e incidentes que podem prejudicar toda carga transportada. Possuir canais de navegação, bacias de manobras e berços de atracação coerentes aos navios tipos são de grande relevância, para que as operações ocorram de modo seguro. Com o fito de otimizar a eficiência portuária com redução de tempo de espera por parte dos navios por ocasião de atracação nos Portos, surgiu a ideia de Folga Abaixo da Quilha Dinâmica (FAQD), que permite avaliação da distância vertical entre a quilha do navio e a profundidade relacionada à batimetria da área, considerando a aquisição de dados meteocenográficos em tempo real, contribuindo para uma tomada de decisão mais ágil dos práticos, comandantes de navios e para a Autoridade Marítima no tocante à definição de parâmetros operacionais portuários. Além disso, nesse trabalho é possível constatar como a simples alteração de densidade pode influenciar na folga abaixo da quilha de navios.

**Palavras-chaves:** Segurança da Navegação, Folga Abaixo da Quilha Dinâmica, Dados Meteocenográficos, Densidade, Lama Fluida.

---

<sup>1</sup> Mestranda do Programa de Pós-graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, ênfase em Hidrografia, Brasil. E-mail: marianamichimoto@id.uff.br

## ABSTRACT

The objective of this study is to investigate the use of the fluid mud layer for the formulation of a port's operational parameters for a new port and for the adaptation of an existing one. Knowing the rheological properties and how the muddy layer behaves may enable the navigation of vessels whose dimensions theoretically would restrict navigation, increasing operability and port utilization and increasing its operational window, minimizing costs with maintenance or deepening dredging. In this way, the main aspects for the operational parameters assessment will be presented, focusing the vertical parameters, since it considers fluid mud aspects and is included in the concept of "nautical depth". The good practice rules of the PIANC Report (2014) indicate calculations to be considered for determining the Under Keel Clearance (UKC). In Brazil, the Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) has discussed this issue and is reformulating the ABNT Standard NBR 13246 (1995) which deals with this subject. A port with waterways attending the safety of navigation aspects contributes to the economic progress of a country, since it mitigate possible accidents and incidents that can harm any transported cargo. Channels, maneuvering basins and mooring berths consistent with vessel types are of great relevance for operations to take place safely. In order to optimize the port efficiency with a reduction in the waiting time of the ships during mooring in the Ports, the idea of Dynamic Under Keel Clearance (DUKC) was born, allowing the vertical evaluation between a keel of vessel and the depth regarding local bathymetry, considering the met-ocean data acquired in real time, contributing to the decision-making of pilots, masters and Maritime Authorities with respect to the definition of port operational parameters. Moreover, in this work it is possible to observe how the simple change of density can influence the under keel clearance of vessels.

**Keywords:** Safety of Navigation, Dynamic Under Keel Clearance, Met-ocean data, Density, Fluid Mud.

# MARIANA DE CASTRO MICHIMOTO

## ASPECTOS RELATIVOS A FOLGA ABAIXO DA QUILHA DE NAVIOS COM ENFOQUE NOS PARÂMETROS OPERACIONAIS PORTUÁRIOS VERTICAIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e Terra, da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.  
Área de Concentração: Dinâmica dos Oceanos e Terra.

Aprovada em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2019.

### BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Arthur Ayres Neto (Orientador)  
Universidade Federal Fluminense - UFF

---

Prof.  
Universidade Federal Fluminense - UFF

---

Prof.  
Universidade Federal Fluminense - UFF

Ficha catalográfica automática - SDC/BIG  
Gerada com informações fornecidas pelo autor

M624a Michimoto, Mariana de Castro  
Aspectos relativos à folga abaixo da quilha de navios com  
enfoque nos parâmetros operacionais portuários verticais /  
Mariana de Castro Michimoto ; Arthur Ayres Neto, orientador.  
Niterói, 2019.  
39 f. : il.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense,  
Niterói, 2019.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PPGDOT.2019.m.11594585709>

1. Hidrografia. 2. Produção intelectual. I. Neto, Arthur  
Ayres, orientador. II. Universidade Federal Fluminense.  
Instituto de Geociências. III. Título.

CDD -

## INTRODUÇÃO GERAL

A fim de atender a demanda crescente no setor hidroviário do País, que corrobore com as relações comerciais firmadas entre o Brasil e outros países, tornou-se notória a necessidade adequar as vias navegáveis brasileiras para atender navios com maiores dimensões em seus canais, bacias de evolução e berços de atracação.

Os portos no Brasil estão passando por um momento favorável para sua modernização e eficiência voltada para o escoamento de importações e exportações, inclusive, apoiado pela Lei 12.815 de 05 de junho de 2013, conhecida como Lei dos Portos. Essa publicação dispõe sobre exploração direta e indireta pela União de portos e instalações portuárias e sobre as atividades voltadas a programas de dragagem desempenhados pelos operadores portuários.

Para isso, foi criado o Programa Nacional de Dragagem Portuária e Hidroviária I (PND-I), instituído pela Lei nº 11.610/2007, para propor e desenvolver soluções para reduzir as limitações de acessos marítimos às vias navegáveis brasileiras.

Dentre os problemas de maior escala, pode-se relacionar o assoreamento progressivo dos canais, bacias de evolução e berços de atracação/desatracação nos portos que, caso não sejam constantemente dragados, reduzem sua operacionalidade devida sua redução de profundidade, não suportando operações de navios com maiores calados.

Para os armadores, a restrição de calado torna-se algo oneroso em virtude dos vultosos custos para manter seus navios por mais tempo no porto. Os navios recebem multa por atrasos na atracação e seguros de suas cargas, uma vez que o número de navios que chegam para operar no porto excede o de berços disponíveis para atracação. Isso pode ser facilmente solucionado se os portos possuírem capacidade de atendimento aos navios com maiores dimensões, que, conseqüentemente, contribuiria para um rápido escoamento das cargas e aumento da eficiência portuária.

Esse plano tinha por objetivo manter profundidades estabelecidas nos projetos por até cinco anos. Estava previsto desassorear e manter a profundidade dos canais de acesso dos portos, a partir da remoção de material do leito marinho por dragagem e por derrocamento no caso de rios. Segundo o portal Portos do Brasil, o PND-I possibilitou a remoção do volume de aproximado de 73 milhões de metros cúbicos, em 16 portos, com um acréscimo médio de 26% na profundidade dos canais de acesso aquaviário aos portos. O investimento total foi de R\$ 1,6 bilhão.

Em 2012, foi lançado o Programa Nacional de Dragagem Portuária e Hidroviária II (PND-II), substituído pela Lei nº 11.610/2007 (PND-I), que conta com dragagens para aprofundamento, alargamento ou expansão de áreas portuárias e de hidrovias, incluindo canais de navegação, bacias de evolução e de fundeio e berços de atracação, com a observância dos aspectos de sinalização náutica, balizamento e monitoramento ambiental. Dessa forma, estima-se que aumente o número de Levantamentos Hidrográficos (LH) a serem realizados nos portos contemplados.

Esses levantamentos hidrográficos, realizados por meio de ecossondagens de alta frequência, que devem ser aprovados pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), são utilizados pelas Capitânicas dos Portos como referência para análise e validação do Calado Máximo Recomendado (CMR) para os portos de sua jurisdição, conforme disposto nas Normas e Procedimentos das Capitânicas dos Portos (NPCP).

A natureza do fundo, estado do mar, movimento das ondas, efeito SQUAT, que é o afundamento e trim de navios devido a sua velocidade à vante, quando navegam em águas rasas (CONSTANTINE, 1960), e possíveis variações de densidade da água e a concentração de sedimentos em suspensão são inclusos em um fator de segurança que ao final das

avaliações, determinam o calado operacional recomendado para cada porto (FAQ - Folga Abaixo da Quilha). Essas variações da concentração de sedimento em suspensão podem indicar a presença de lama fluida que, se permitida a navegação nessa camada, reduziria o volume de material a ser dragado e com isso, os custos operacionais e impactos ambientais de um porto por ocasião das dragagens. Neste trabalho, o enfoque se dará pela parcela da lama fluida e influência da densidade por ocasião de um navio em viagem. A necessidade de conhecer os aspectos relativos à FAQ de navios pode trazer benefícios ao País e esse é o principal escopo deste trabalho.

## **METODOLOGIA**

A metodologia utilizada para ambos os artigos foram as pesquisas exploratórias, como revisão bibliográfica, por meio investigativo, seleção e coleta de fontes impressas, tais como livros, artigos e periódicos, nacionais e internacionais, publicações online, recomendações e parâmetros internacionais que tratam de alguns dos parâmetros operacionais verticais portuários.

Em especial, no segundo artigo apresentado e intitulado como “Apresentação do uso das ferramentas de calado dinâmico para o melhor aproveitamento da janela operacional portuária” foram coletados dados de salinidade, temperatura e profundidade disponibilizados pelo *website World Ocean Dataset* do NODC/NOAA (*National Oceanographic Data Center/ Nacional Oceanic and Atmospheric Administration*) e processados no *software Ocean Data View* (ODV), versão 5.0.0.



## **LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO PARÂMETROS OPERACIONAIS PORTUÁRIOS E LAMA FLUIDA PARA FINS DE NAVEGAÇÃO**

Figura 1 - Componentes da profundidade do canal e calado aéreo estimado para o Projeto Conceitual.....	10
Figura 2 - Simulador de Passadiço <i>Full Mission</i> Classe A na Alemanha.....	11
Figura 3 - Canais demarcados por auxílios à navegação (boias).....	11
Figura 4 - Fatores relacionados à profundidade do canal.....	12
Figura 5 - Modelo que mostra o estado de ocorrências e conexão dos processos comportamentais dos sedimentos coesivos.....	13
Figura 6 - Visão geral de manobra de um navio navegando em área lamosa.....	14
Figura 7 - Exemplos característicos dos tipos de lama fluida.....	14

## **LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO APRESENTAÇÃO DO USO DAS FERRAMENTAS DE CALADO DINÂMICO PARA O MELHOR APROVEITAMENTO DA JANELA OPERACIONAL PORTUÁRIA**

Figura 1 - Calado estático de navios e FAQ.....	20
Figura 2 - Três dos seis graus de liberdade relativos aos movimentos de um navio a partir de seu centro de gravidade.....	22
Figura 3 - Representação em gráfico de dispersão no qual observa-se dados de salinidade, temperatura potencial e profundidade de estações oceanográficas nos entornos do acesso ao Porto do Rio de Janeiro-RJ, com a temperatura potencial em ° C (graus celsius); salinidade em psu ( <i>Practical Salinity Unit</i> ) e profundidade em m (metros).....	26
Figura 4 - Representação em gráfico de dispersão realizado no software ODV no qual observa-se dados de salinidade, temperatura potencial e profundidade de estações oceanográficas nos entornos do acesso ao Porto de Cabedelo-PB, com a temperatura potencial em ° C (graus celsius); salinidade em psu ( <i>Practical Salinity Unit</i> ) e profundidade em m (metros).....	27
Figura 5 - Sistema Redraft® em operação em caráter experimental no Brasil.....	29

**SUMÁRIO DO ARTIGO PARÂMETROS OPERACIONAIS PORTUÁRIOS E LAMA FLUIDA PARA FINS DE NAVEGAÇÃO**

<b>1 – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2 – PARÂMETROS OPERACIONAIS PORTUÁRIOS.....</b>	<b>9</b>
<b>3- CONCEITO DE PROFUNDIDADE NÁUTICA.....</b>	<b>12</b>
3.1- LAMA FLUIDA.....	12
<b>4 – CONCLUSÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>5 – BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>15</b>
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>33</b>

**SUMÁRIO DO ARTIGO APRESENTAÇÃO DO USO DAS FERRAMENTAS DE CALADO DINÂMICO PARA O MELHOR APROVEITAMENTO DA JANELA OPERACIONAL PORTUÁRIA**

<b>1 – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>2 – RELAÇÃO CALADO DINÂMICO E PROFUNDIDADE.....</b>	<b>19</b>
<b>3 - FATORES RELEVANTES SOBRE A FAQD.....</b>	<b>21</b>
<b>4 – SISTEMA DE CALADO DINÂMICO NO BRASIL.....</b>	<b>28</b>
<b>4 – CONCLUSÃO.....</b>	<b>30</b>
<b>5 – REFERÊNCIAS.....</b>	<b>30</b>
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>33</b>

# 27º Congresso Internacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore

Rio de Janeiro/RJ, 23-25 de outubro de 2018

## Parâmetros Operacionais Portuários e lama fluida para fins de navegação

Mariana de Castro Michimoto, UFF, Niterói/Brasil, marimichimoto@yahoo.com.br  
Arthur Ayres Neto, UFF, Niterói/Brasil, aayres@id.uff.br

### RESUMO

*O objetivo deste trabalho versa sobre a utilização da camada da lama fluida para formulação de parâmetros operacionais portuários tanto para um porto novo, quanto para adequação de um já existente. Conhecer as propriedades reológicas e como a camada lamosa se comporta poderá possibilitar a navegação de navios cujas dimensões teoricamente estariam restritivas à navegação, possibilitando melhor aproveitamento operacional e aumento da janela operacional de um porto, minimizando os custos com dragagens de manutenção ou aprofundamento. Dessa maneira, pretende-se apresentar os principais aspectos para avaliação dos parâmetros operacionais, em especial, o vertical, pois nele é que se considera a lama fluida e está incluída no conceito de "profundidade náutica". As regras de boas práticas do Relatório PIANC (2014) indicam cálculos a serem considerados para determinar a Folga Abaixo da Quilha (FAQ) dos navios. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) tem discutido o esse assunto e reformulando a Norma ABNT NBR 13246 (1995) que trata do assunto. Um porto que possui vias navegáveis que atendem à segurança da navegação contribui para a garantia do avanço de um País em âmbito econômico, uma vez que mitiga possíveis acidentes e incidentes que podem prejudicar toda carga transportada. Possuir canais de navegação, bacias de manobras e berços de atracação coerentes aos navios tipos são de grande relevância, para que as operações ocorram de modo seguro.*

### ABSTRACT

*The objective of this paper is the use of the fluid mud layer for the formulation of operational port parameters for a new port and for the adaptation of an existing one. Knowing the rheological properties and how the muddy layer behaves may enable the navigation of vessels whose dimensions theoretically would be restrictive to navigation, enabling better operational port utilization and increase of its operational window, minimizing costs with maintenance or deepening dredging. In this way, it is intended to present the main aspects for the operational parameters assessment, especially the vertical, because it consider fluid mud and is included in the concept of "nautical depth". The good practice rules of the PIANC Report (2014) indicate calculations to be considered for determining the Under Keel Clearance (UKC). In Brazil, the Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) has discussed this issue and is reformulating the ABNT Standard NBR 13246 (1995) that deals with this subject. A port that has waterways that attend the safety of navigation contributes to guarantee the progress of a country in economic terms, since it mitigate possible accidents and incidents that can harm any cargo transported. Channels, maneuvering basins and mooring berths consistent with vessel types are of great relevance for operations to take place safely.*

### 1 – INTRODUÇÃO

Os portos brasileiros estão se modernizando, amparados pela Lei 12.815 de 05 de junho de 2013, conhecida como Lei dos Portos. Essa publicação prevê exploração direta e indireta, pela União, de portos e instalações portuárias, e sobre as atividades voltadas para as dragagens realizadas pelos portos a fim de manterem os parâmetros operacionais exequíveis para o atendimento de um

navio de projeto, o qual se pretende acessar um determinado porto.

Para o melhor atender navios cada vez maiores e manter as profundidades dos canais de navegação, bacias de evolução e berços de atracação dos portos existentes adequadas à atividade portuária, em 2012 foi lançado o Programa Nacional de Dragagem Portuária e Hidroviária II (PND-II), que substituiu a Lei nº 11.610/2007 (PND-I), que conta

com dragagens para fins de aprofundamento, alargamento ou expansão de áreas portuárias e de hidrovias, incluindo canais de navegação, bacias de evolução e de fundeio e berços de atracação, observando os aspectos de sinalização náutica, e prevenção do meio ambiente marinho.

O tipo de fundo, estado do mar, altura significativa das ondas, efeito SQUAT, que é o afundamento e trim de navios devido a sua velocidade à vante, quando navegando em águas rasas (CONSTANTINE, 1960), possíveis variações de densidade da água, quando o navio navegando sai do contato da água salgada e vai para áreas de água doce, e a concentração de sedimentos, geralmente finos como silte e argila, em suspensão são incluídos em uma margem de segurança que ao final das avaliações, pode-se determinar o calado operacional recomendado para cada porto (FAQ - Folga Abaixo da Quilha ou popularmente conhecido como “Pé de Piloto”). Essas variações da concentração de sedimento em suspensão, que podem não interferir na segurança da navegação, desde que sejam verificados limites aceitáveis para a densidade crítica e características reológicas, analisadas em laboratórios, podem indicar a presença de lama fluida, que pode ser permitido o aproveitamento dessa camada para navegação, o que reduziria o volume de material a ser dragado e o ganho operacional para o porto seria demasiadamente vultoso e incentivador para que navios cada vez maiores possam aproveitar os portos brasileiros com redução dos custos para as Autoridades Portuárias com dragagens. Por exemplo, o Porto de Santos em 2017, gastou aproximadamente R\$ 369 milhões para estabelecer a profundidade entre 15,4 e 15,7 metros no canal de navegação porto e seus berços de atracação terão nova fundura, entre 7,6 e 15,7 metro, segundo VALOR ECONÔMICO.

## 2 – PARÂMETROS OPERACIONAIS PORTUÁRIOS

De acordo com a Autoridade Marítima Brasileira (NORMAM-11/DPC), dragagem é definida por: “Ato de retirada de material do leito dos corpos d’água, com finalidade específica” e estipula quatro de dragagens: Implantação, Manutenção, Mineração e Recuperação Ambiental.

Conforme CDRJ, 2002, a dragagem de implantação se dá em locais que não possuem sistema portuário e estabelece novas vias navegáveis para um porto novo.

Para a dragagem de manutenção, deverá existir um porto preexistente o qual terá suas características mantidas para não haver perda da profundidade requerida que pode ser afetada pelo assoreamento e remobilização de sedimentos

devido aos fatores climatológicos locais (YOKOYAMA, 2012).

Para tanto, há a necessidade de definir-se o navio tipo (NORMAM-11/DPC):

*“Deve ser selecionado de modo a assegurar que o projeto do canal permita, a ele e a outros navios que utilizem o canal, naveguem com segurança.”*

O valor da profundidade requerida por um navio de projeto deve ser determinado pela adição ao calado do navio de projeto, de parcelas características, representativas da influência dos movimentos verticais das embarcações, do efeito squat, da natureza do fundo e tolerâncias.

Segundo o Relatório 121 da PIANC (2014), que é uma publicação a nível internacional, que são basicamente regras de boas práticas, que tratam da definição de parâmetros operacionais tanto para um porto existente, quanto para um porto novo, bem como relata parâmetros para modelagem em simuladores para validação dos dados oriundos de cálculos matemáticos de tabelas preexistentes, nas quais se inserem valores e ao final obtém-se as dimensões horizontais e verticais para uma via navegável. Com isso, propõe-se nova geometria de um canal de acesso de um porto novo ou, no caso de um porto já existente, do seu canal de acesso, bacia de evolução, fundeadouros e berços de atracação. No entanto, é necessário que seja definido o navio tipo ou navio de projeto que se pretende utilizar e que seja verificada a exequibilidade para o tráfego na via ou área de manobra a fim de viabilizar a segurança da navegação.

Conforme PIANC (2014), é no projeto conceitual que são definidas as dimensões verticais e horizontais no tocante ao canal de acesso, canal mais externo e desabrigado; canal interno, abrigado e mais próximo à área portuária e berços de atracação; bacia de evolução; e berços de atracação, as quais são analisadas separadamente. Para isso são utilizados os dados locais observados de vento, corrente e tipo de fundo em tabelas mais simples.

Para o cálculo da profundidade, são levados em conta os fatores relativos aos navios (efeito SQUAT, trim dinâmico, efeito vento em guinadas, etc.); ao nível da água (diferenças de densidade, altura significativa de ondas); e relativos ao fundo, que resultam na folga mínima que permite uma navegação segura.

Em relação ao dimensionamento vertical, a tabela 1 abaixo é um desses fatores que compõem o dimensionamento vertical, a FAQ, exemplificando e representando os “fatores relativos ao navio”. O cálculo é feito inserindo dados coletados das

condições ambientais e tipo de tensa local, efetuando a substituição do calado ( $T$ ), de acordo com o canal proposto no projeto. Após todas as informações serem inseridas, somam-se as

parcelas e obtém-se o resultado. Os demais fatores, que são relativos ao “nível da água” e ao “fundo” são calculados do mesmo modo, e, ao final da soma das três, obtém-se a FAQ.

Descrição	Velocidade do navio	Condições de ondas	Fundo do canal	Canal abrigado	Canal desabrigado
Fatores Relacionados com o Navio $F_s$					
Profundidade $h$	$\leq 10$ nós	Nenhum		$1,10 T$	
	10 - 15 nós			$1,12 T$	
	$> 15$ nós			$1,15 T$	
	Todas	Ondulação baixa ( $H_s < 1$ m)			$1,15 T$ até $1,2 T$
		Ondulação moderada ( $1 \text{ m} < H_s < 2$ m)			$1,2 T$ até $1,3 T$
		Ondulação forte ( $H_s > 2$ m)			$1,3 T$ até $1,4 T$
	Somar para o tipo de fundo do canal				
Todas	Todas		Lama /lama	Nenhum	Nenhum
			Areia/argila	0,4 m	0,5 m
			Rochas/coral	0,5 m	1,0 m
<b>Folga sobre o calado aéreo (FCA)</b>					
FCA	Todas	Todas		$0,05 H_{st}$	$0,05 H_{st} + 0,4 T$
<p>NOTA 1 Para os Fatores relacionados ao Navio, supõe-se <math>T &gt; 10</math>m. Se <math>T &lt; 10</math> m, usar o valor para <math>T = 10</math>m</p> <p>NOTA 2 Ondulação significa ondas com períodos de pico <math>T_p</math> maior do que 10s</p> <p>NOTA 3 Para os valores correspondentes à ondulação em Canais Externos, utilizar valor menor para ondulações de menores períodos e valores maiores para ondulações de maiores períodos.</p> <p>NOTA 4 O valor para a altura significativa das ondas <math>H_s</math> depende da operação requerida, do tipo do navio-projeto, do nível de acessibilidade, do período e da direção relativa das ondas.</p> <p>NOTA 5 <math>H_{st}</math> é a distância da superfície do mar ao ponto mais alto do navio.</p> <p>NOTA 6 Densidade assumida da água salgada para <math>T</math>. São necessários ajustes adicionais no caso de água doce.</p>					

Figura 1-Componentes da profundidade do canal e calado aéreo estimado para o Projeto Conceitual. Fonte: Modificado da PIANC (2014)

A PIANC prevê no projeto detalhado simulações com base em dados ambientais e operacionais reais, de forma a aperfeiçoar o projeto conceitual e dar mais garantia ao decisor, que no Brasil é Autoridade Marítima na figura dos Capitães dos Portos da Marinha do Brasil, para definir o calado máximo recomendado para um porto. Essa decisão é baseada em simulações as quais são convidados, para os testes nos simuladores de passagem tipo

Full Mission (Figura 2), os práticos, comandantes de navios experientes e representante da Autoridade Marítima local para analisarem os aspectos comportamentais dos navios tipos, levando em conta e também o fator humano (fadiga do piloto/tempo de reação sobre o timão e demais equipamentos), que influenciam na capacidade de manobra do navio.



Figura 2- Simulador de Passadiço Full Mission Classe A na Alemanha. Fonte: Apresentação sobre Simuladores realizada no Seminário de Gerenciamento de Ferramentas de risco da IALA. Benedict, K. (2016)

O projeto detalhado é um processo destinado a validar, desenvolver e aperfeiçoar o projeto conceitual em termos operacionais; de movimento e manobrabilidade do navio de projeto; análises de risco, a qual viabiliza a possibilidade de um encalhe ou abaloamento com uso de ferramentas de análise de risco que utilizam a matriz probabilidade x consequência; execução; custos de manutenção e outros possíveis impactos. Neste estudo, será considerado apenas o projeto conceitual, ressaltando que os aspectos verticais

que compõem a relação profundidade x calado serão o foco para uma primeira análise que envolve a importância da lama fluida que como sua existência poderá contribuir para a avaliação do calado máximo recomendado. Releva mencionar que os aspectos horizontais relacionados à largura do canal são importantes para delimitar os limites do canal de navegação que deverão ser demarcado por auxílios à navegação com suas poitas fixadas na base dos taludes dos canais (Figura 3).

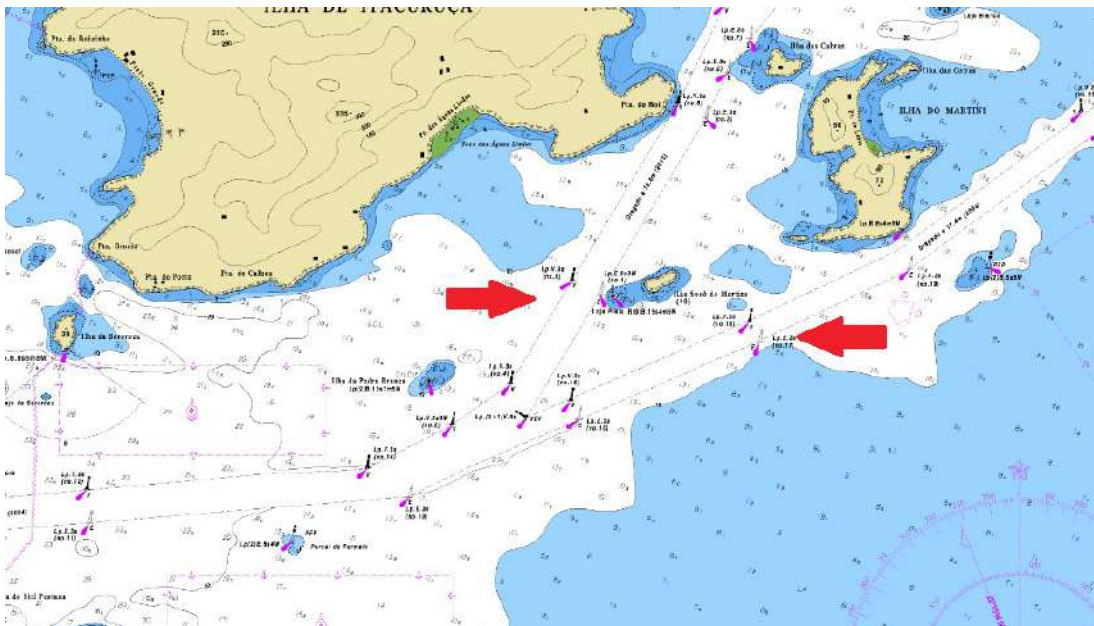


Figura 3-Canais demarcados por auxílios à navegação (boias). Fonte: Modificado de Carta Náutica nº 1623 (Centro de Hidrografia da Marinha).

A folga bruta abaixo da quilha de um canal é definida por seis fatores de segurança com critérios relacionados ao navio (figura 4): seu calado estático, que incluem o trim (tendência do navio ao afundamento mais para vante ou para ré devido ao posicionamento de concentração de sua carga e lastro e banda (tendência a adernar para um bordo, qual seja, direita ou esquerda, variação

de densidade dependendo do local de navegação, se marítima ou fluvial, que pode aumentar de 2 a 3% o calado do navio quando passa de água salgada para água doce; inclinação dinâmica devido ao vento e guinada, comumente utilizada para navios do tipo Ro-Ro, passageiros e contêineres. Segundo a PIANC, esses fatores contribuem para o cálculo da FAQ.

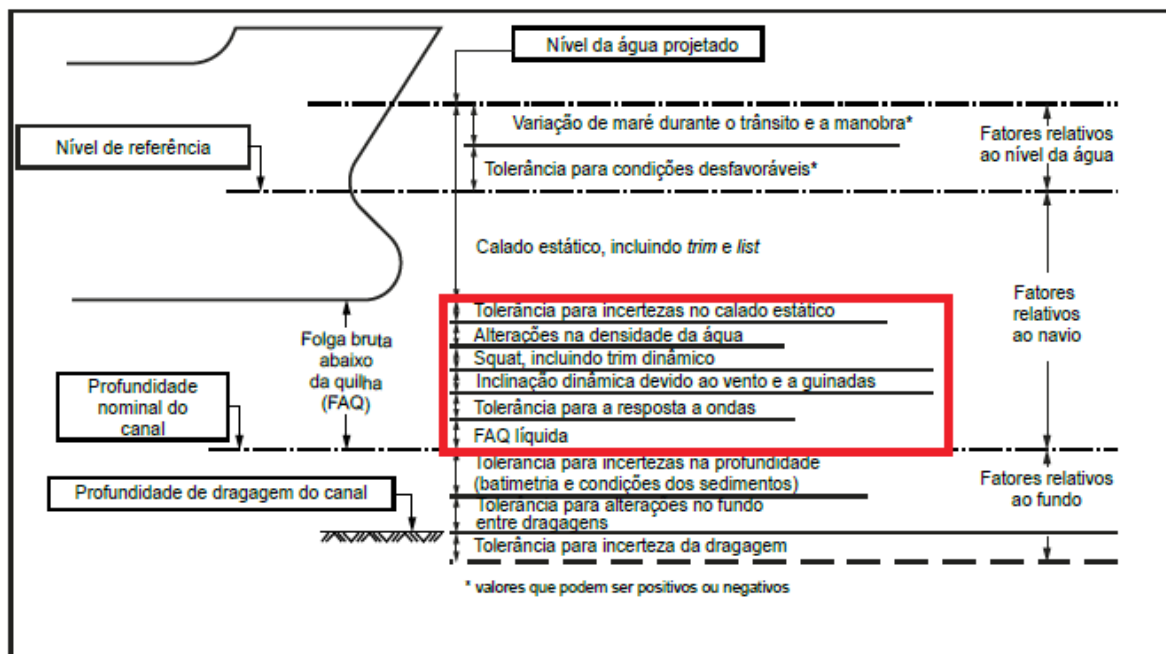


Figura 4- Fatores relacionados à profundidade do canal .Fonte: Modificado de PIANC (2014).

O Squat, que é uma tendência à redução da FAQ em virtude do afundamento que o navio apresenta quando está em movimento, torna-se mais relevante uma vez que o navio encontra-se navegando em águas rasas. Em geral, esse é o caso da maioria dos canais de acesso dos principais portos. As recomendações de boas práticas internacionais indicam como deverá ser realizado todo cálculo matemático e padrões a serem adotados para calcular esses e os demais parâmetros. Segundo Parker e Huff (1998), a falta de acurácia na determinação dessa folga é capaz de causar sérias consequências econômicas e à segurança da navegação, relacionado aos riscos de encalhes e toques ao fundo de rocha submersa, por exemplo.

### 3- CONCEITO DE PROFUNDIDADE NÁUTICA

Para o Relatório 121 da PIANC (2014), o conceito de profundidade náutica é: “Em áreas lamosas, a definição de fundo náutico pode ser interpretada como o nível onde o fluido navegável termina e o fundo do mar não navegável começa”. Com isso, a necessidade de conhecer onde inicia o fundo

consolidado, as interfaces coluna d’água / lama fluida e lama fluida / lama parcialmente consolidada são fatores indispensáveis ao projetista e podem evitar sobremaneira um acidente. Releva mencionar que as áreas estuarinas e lagos possuem grande quantidade de concentração de sedimentos finos em suspensão, com característica coesiva que pode indicar presença de lama fluida (DYER, 1995).

#### 3.1-LAMA FLUIDA

A lama fluida é uma elevada concentração de silte e argila em suspensão que impedem que a navegação ocorra de modo eficiente reduzindo a qualidade da água, aumento de turbidez e causando danos aos equipamentos dos navios (McAnally, 2007).

De acordo com DELEFORTRIE (2006), a lama fluida contém matéria orgânica, gases e até mesmo areia fina, em ambientes mais energéticos. Além disso, sugere que a definição da camada de lama fluida seja realizada por meio de análises de sua densidade crítica em suspensão.

Segundo FAAS, 1991, a lama fluida se comporta como um fluido não-newtoniano devido suas

características de viscosidade não variarem a uma taxa constante com a sua tensão de cisalhamento. Kirby e Parker (1983 apud Kirby, 1988) observaram o ciclo do processo dos sedimentos coesivos, o qual se inicia pela suspensão de partículas em movimento por meio de componentes verticais ao movimento. As partículas possuem concentração de até 150g/l de sedimentos finos para 1L de coluna d'água (Figura 5) e sofrem arrastamento. Elas são oriundas da erosão da lama, em um ambiente em que sofre retrabalhamento das partículas por parte das forças existentes em uma escala de tempo variável, que pode ser alguns minutos ou até mesmo por anos. Essas partículas passam pelo processo de acumulação, e por

consequente, entram em suspensões estacionárias no fundo. Em regiões de turbidez, o material poderá permanecer em seu estado de suspensão estacionária por algumas horas ou dias. Quando o material em suspensão não possui componente lateral ao movimento que permita seu arrasto, a concentração de material em suspensão com 250g/l podem fazer parte de uma camada densa com espessura que pode chegar até 3,0 m. Após isso, as partículas em suspensão são consolidadas e a lama consolidada permanece depositada por dias ou semanas até que haja nova componente vertical que induza sua ressuspensão em um processo cíclico.



Figura 5- Modelo que mostra o estado de ocorrências e conexão dos processos comportamentais dos sedimentos coesivos. Fonte: Modificado de Kirby e Parker, 1983.

Conforme WELLS e COLEMAN (1981), a lama fluida possui densidade compreendida entre uma faixa de 1050 a 1300 kg/m<sup>3</sup>. Há estudos que demonstram que a lama fluida pode ser utilizada para a navegação quando a densidade da camada de lama é de até no máximo 1200 kg/m<sup>3</sup> (CAILLOT *et al.*, 1978, *apud* BANDEIRA *et al.*, 2006). Essa é uma característica importante, uma vez que pode minimizar custos com dragagem e manter a via com maior janela operacional. Para determinar os limites de densidades das camadas de lama fluida, utilizam-se métodos acústicos com ecobatímetro de dupla frequência, 210 kHz, que mapeia a interface água / lama fluida

e 33 kHz, que tem capacidade de penetrar na lama fluida e mapear a interface com fundo consolidado (MCANALLY *et al.*, 2007).

Na figura 6, observa-se uma representação da visão geral de um navio navegando em área de lama fluida no porto de Zeebrugge (Bélgica). Após sondagens de baixa frequência, pôde-se inferir uma nova densidade crítica para navegação naquele porto que antes era de 1,15 ton/m<sup>3</sup> e posteriormente passou para 1,20 ton/m<sup>3</sup>, o que, conseqüentemente, permitiu navios de maiores dimensões de calado trafegassem nessa camada, com FAQ suficiente que garantisse segurança (DELEFORTRIE, 2006).





Figura 6-Visão geral de manobra de um navio navegando em área lamosa. Fonte: Modificado de DELEFORTRIE, 2006

As concentrações de lama em suspensão entre 1 e 100 Kg/m<sup>3</sup> podem ser medidas utilizando-se sensores ópticos, ao passo que sensores acústicos podem mensurar densidades de lama entre 100 e 1000 Kg/m<sup>3</sup>, uma vez que esses sensores sejam calibrados devidamente. Ainda afirma que técnicas de *backscatter* podem ser utilizadas (RIJN, 2016). De acordo ainda com MCANALLY *et al.*, (2007), em alguns portos e canais, a lama se forma tão rapidamente que torna-se difícil avaliar em tempo hábil a viabilidade de dragagem para manter uma via navegável e segura como acontece com os portos de Europoort (Holanda), San Francisco

Bay(EUA) e Savannah e Atchafalaya Bar Channel (EUA).

A figura 7 apresenta as composições granulométricas contendo as porcentagens das concentrações de silte e argila, as quais se diferem nos locais distintos, podendo ser associado à dinâmica de cada ambiente. Observa-se que a porcentagem de sedimentos finos da Amazônia é demasiadamente elevada. É oriunda da grande quantidade de aporte de sedimentos finos que são erodidos das margens dos rios atrelados à força existente nesse tipo de ambiente (vazão fluvial), e quando em suspensão, contribui para a existência de lama fluida na região.

#### EXEMPLO CARACTERÍSTICO DA GRANULOMETRIA DA LAMA FLUIDA

LOCAL	MÉDIA GRANULOMÉTRICA EM MICRONS	ARGILA (%)	SILTE (%)
AMAZONIA, BRASIL (Allison, et al. 1995, Stenberg, et al. 1996)	0.7–0.9	70–80	20–30
MOBILE BAY (Nichols et al, 1878)	3.2	70	30
GIRORONDE, FRANÇA (Granboulan et al, 1989)	—	50–60	40–50
LAGUNA MADRE (Teeter, 2001)	4.3	50	50
EEL RIVER SHELF (Wheatcroft and Borgeld, 2000)	—	50	50
RIO JAMES	12	40	60

Figura 7- Exemplos característicos dos tipos de lama fluida. Fonte: Modificado de McAnally (2007)

Apenas o parâmetro densidade não é o fator decisivo na definição da camada de lama. É necessária também a realização testes reológicos, em laboratórios, para verificar comportamento pseudoplástico da lama e como a tensão de cisalhamento se comporta com a viscosidade, uma vez que a lama fluida é um fluido não-newtoniano (GREISER *et al.*, 2002).

#### 4 – CONCLUSÃO

Um porto que possui vias navegáveis que atendem à segurança da navegação é o baluarte para garantir o avanço de um País e movimentar a economia. Adequar os canais de navegação, bacias de manobras e berços de atracação aos fatores que determinam a Folga Abaixo da Quilha são de grande relevância.

Nesse cenário, a lama fluida e sua capacidade de ampliar janelas operacionais de portos sem ter que efetivamente dragar, pode diminuir os custos operacionais portuários em relação ao volume do material a ser dragado para manter os portos e vias navegáveis adequados e seguros para atender aos navios tipos desejados. Esse fato minimiza impactos ao meio ambiente, como ressuspensão de material contaminado e turbidez. Engajar um estudo consistente sobre a conjuntura e propriedades que definem a lama fluida permitirá valer-se desse parâmetro de forma mais consistente no cálculo da FAQ nas vias navegáveis brasileiras. Esta revisão da literatura torna-se importante, uma vez que portos brasileiros ainda não se apropriaram do uso da camada de lama fluida voltada para fins de aproveitamento na navegação, assunto que ainda encontra-se em estudo pela Autoridade Marítima Brasileira para posteriormente, ser validado.

#### 5 – BIBLIOGRAFIA

BANDEIRA, J. V., SALIM, L. H., AUN, P. E. O uso de técnicas nucleares na otimização das operações de dragagem e nos estudos de seus impactos ambientais físicos. In: II Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, pp. 119–133, Rio grande. 2006;

BRASIL. Marinha do Brasil. Diretoria de Portos e Costas. Normas da Autoridade Marítima para obras, dragagens, pesquisa e lavra de minerais sob, sobre e às margens das águas jurisdicionais brasileiras, 2003. (NORMAM-11);

BRASIL. Lei nº12815 - Dispõe sobre a exploração direta e indireta pela União de portos e instalações portuárias e sobre as atividades. Presidência da República- Diário Oficial da União. [S.l.]. 5 de Junho 2013;

COMPANHIA DOCAS DO RIO DE JANEIRO. Estudo de Impacto Ambiental – EIA. Projeto de Dragagem do Canal de Acesso e das Bacias de Evolução dos Terminais do Porto do Rio de Janeiro e de Niterói. Rio de Janeiro: CDRJ, Setembro, 2002, Disponível em:

[http://www.portosrio.gov.br/downloads/EIA\\_Dragagem\\_2002.pdf](http://www.portosrio.gov.br/downloads/EIA_Dragagem_2002.pdf). Acessado em: 26/08/2017;

CONSTANTINE, T, 1960. On the movement of ships in restricted waterways. *Journal of Fluid Mechanics* 9 (2), 247-257;

DELEFORTRIE, G., VANTORRE, M., LAFORCE, E., Revision of the nautical bottom concept in Zeebrugge based on the manoeuvrability of deep-drafted container ships, In: Csiti, A. (ed.) *Dredging: the extremes: CEDA dredgingdays 2005*, Rotterdam, theNetherlands, 2005;

DYER, K. R. Sediment Transport Process in Estuaries Em PERILLO, G. M. E. *Geomorphology and Sedimentology* . Elsevier Science, 1995, pp. 423-449;

FAAS, R. W. Rheological Boundaries of Mud. Em: *Geo-Marine letters*, 1991;

GREISER, N., GAMNITZER, R., RUPP, J., Pseudoplasticity of Cohesive Sediments: Causes and Innovative Techniques for Pre-Dredging Surveys. In: *Proceedings of the CEDA Dredging Days 2002*, pp. 27-33, Casablanca, Morocco, pp. 27-33, Out. 2002;

KIRBY, R., High Concentration Suspension (Fluid Mud) Layers in Estuaries, 1988;

MARTENS, C., DELGADO, R., VERHAEGH, R., VERWAEST, T., WILLENS, M. Improving the nautical access to Zeebrugge harbor: a multidisciplinary study. *Coastal Engineering*, 2012;

McAnally, William H. et al. *Management of Fluid Mud in Estuaries, Bays, and Lakes. I: Present State of Understanding on Character and Behavior* (2007);

PARKER, Bruce B., HUFF, Lloyd C., *Modern Under Keel Clearance, Management*, Setembro, 1998;

PIANC, “Approach Channels – A guide for desing: Final rep. Of the joint Working Group PIANC and IAPH in cooperation with IMPA and IALA” (2014);

PORTOS DO BRASIL, Disponível em: <http://www.portosdobrasil.gov.br/assuntos-1/pnd>, Acessado em: 26/08/2017;

RIJN, L. V., Fluidmudformation (2016), Disponível em:<http://www.leovanrijn-sediment.com/papers/Fluidmudformation2016.pdf>. Acessado em: 31/12/2017;

VALOR ECONÔMICO. Disponível em: <http://www.valor.com.br/empresas/4861922/contrato-de-r-369-milhoes-para-dragagem-do-porto-de-santos-e-assinado>. Acessado em: 18/06/2018;

WELLS, J. T., COLEMAN, J. M., Physical processes and fine-grained sediment dynamics, coast of Surinam, South-America, *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 51, n. 4, pp. 1053–1068, 1981;

WURPTS, R., GREISER, N., Monitoring and dredging technology in muddy areas, In: Chinese-German Joint Symposium on Hydraulic and Ocean Engineering, pp. 385-392, Agosto, 2008; e

YOKOYAMA, Carlos Koji, Mobilidade sedimentar da plataforma continental do estado de São Paulo em função da propagação de ondas, Dissertação de Mestrado, USP, 2012.



# Apresentação do uso das ferramentas de calado dinâmico para o melhor aproveitamento da janela operacional portuária

Presentation of the use of the dynamic draft tools for the best use of the port operational window

Mariana de Castro Michimoto<sup>1</sup>

Arthur Ayres Neto<sup>2</sup>

## RESUMO

A motivação desse estudo partiu da necessidade de apresentar as tecnologias e boas práticas utilizadas ao redor do mundo para contribuir para melhoria da eficiência portuária, e ao mesmo tempo, garantir a segurança da navegação. Para isso, pretende-se apresentar os sistemas que relacionam a Folga Abaixo da Quilha Dinâmica (FAQD), que permite avaliação da distância vertical entre a quilha do navio e a profundidade relacionada à batimetria da área, considerando a aquisição de dados meteocenográficos em tempo real, contribuindo para uma tomada de decisão mais ágil dos práticos, comandantes de navios e para a Autoridade Marítima no tocante à definição de parâmetros operacionais portuários. Além disso, nesse trabalho é possível constatar como a simples alteração de densidade pode influenciar na folga abaixo da quilha de navios.

Palavras-chaves: Segurança da Navegação, Folga Abaixo da Quilha Dinâmica, Dados Meteocenográficos, densidade.

---

1 Mestranda do Programa de Pós-graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, ênfase em Hidrografia, Brasil. E-mail: marianamichimoto@id.uff.br

2 Pós-Doutorado em Université Libre de Bruxelles, ULB, Bélgica. Email: aayres@id.uff.br

## **ABSTRACT**

The motivation of the study is the presentation of technologies and good practices around the world to improve port efficiency, while ensuring the safety of navigation. To do this, it is intended to present the systems that relate the Dynamic Under Keel Clearance (DUKC), allowing the vertical evaluation between a keel of vessel and the depth regarding bathymetry local, considering the met-ocean data acquired in real time, contributing to the decision-making of pilots, masters and Maritime Authorities with respect to the definition of port operational parameters. Moreover, in this work it is possible to observe how the simple change of density can influence the under keel clearance of ships.

Keywords: Safety of Navigation, Dynamic Under Keel Clearance, Met-ocean data, density.

## **1 – INTRODUÇÃO**

Para melhor atender ao setor de transporte hidroviário do País, torna-se vigente a necessidade adequar as vias navegáveis brasileiras para atender navios com maiores dimensões em seus canais, bacias de evolução e berços de atracação. Segundo HARE (2011), a hidrografia se torna importante, pois aborda questões da navegação oceânica e costeira e provê mais acurácia por ocasião da utilização das cartas náuticas que contribuem para navegação segura.

Com isso, conhecer metodologias para melhor aproveitamento das vias marítimas existentes em prol de que mais navios maiores possam navegar com segurança colabora para eficiência de um porto e para a economia do País. Dessa forma, o escopo deste trabalho foca na apresentação de sistemas que calculam o calado máximo seguro para navegação de embarcações com relação ao risco de toque no fundo a partir das condições ambientais medidas e coletadas em tempo real, modelagem hidrodinâmica do local e os levantamentos batimétricos aproveitados, que no Brasil, são validados pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). As metodologias aplicadas para cálculo de calado máximo seguro, que delimitam a FAQD, são similares aos procedimentos empregados na etapa de projeto conceitual de canais, previstas no Relatório nº 121 da PIANC (World Association for Waterborne Transport, formerly Permanent International Association of Navigation Congresses -2014). Esse relatório introduz a existência de sistemas de calado dinâmico que ampliam as janelas operacionais portuárias,

podendo-se alterar os calados máximos recomendados visando adequação às condições reinantes no momento da passagem do navio, uma vez que, segundo PIANC (2014), suposições incorretas de dados de entrada nas tabelas previstas no projeto conceitual podem fazer com que os cálculos estejam equivocados e navios toquem ao fundo.

Para tanto, a utilização de um calado dinâmico que permita a ampliação de janelas operacionais em portos dotados de monitoramento das condições ambientais e meteoceanográficas em tempo real, facilitará que navios maiores possam aproveitar marés e condições aumentando a operacionalidade do porto. Além disso, esse aproveitamento mitigaria o número de dragagens para manter as profundidades requeridas para navegação local e com isso, os custos operacionais do porto e impactos ambientais, como ressuspensão de material contaminado, qualidade da coluna d'água degradada (turbidez), e todos os problemas afetos às dragagens e seu gerenciamento (CDRJ,2002). Segundo CURTIS et al. (2018), dados das condições reinantes em tempo real são fundamentais para realização dos cálculos de FAQD. Dados de janelas de marés e das boias utilizadas para sistemas de aquisição de dados oceânicos (ODAS) são necessários para ajudar a descrever a região do porto.

## **2 – Relação Calado Dinâmico e profundidade**

Calado de um navio é definido como a diferença vertical da linha de base de um navio, ou seja, parte do casco molhada próxima ao transdutor do ecobatímetro que marca a profundidade, até a Linha D'Água de Projeto ou DWL (Design Water Line), que é a marcação no casco quando está completamente carregado (Aykut, 2013). Para GOURLAY (2007), o conceito de Folga Abaixo da Quilha (FAQ) ou UKC (Under Keel Clearance) é definido pela diferença, em altura, entre a linha de base do navio e o fundo. Na Figura 1 pode observar como os limites da FAQ são definidos por meio de seu calado estático, sem as influências de fatores relativos ao navio, fundo, meteoceanográficos e variações de densidade.

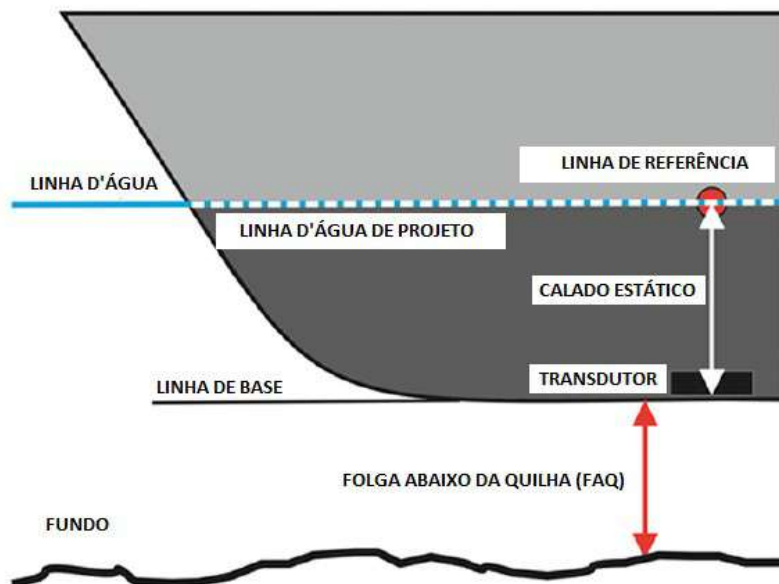


Figura 1- Calado estático de navios e FAQ. Fonte: Modificado de AYKUT, N.O., AKPINAR, B., 2013.

Segundo AYKUT e ALKAN (2010), levantamentos hidrográficos são cruciais para prover segurança e proporcionar saldos econômicos, que uma vez realizado satisfatoriamente poderá ser avaliado em prol da entrada de navios com maiores dimensões de comprimento, boca e calado.

Para tanto, os levantamentos hidrográficos e seus métodos para aquisição, acústico ou laser aerotransportado (LIDAR-Light Detection and Ranging), são de suma importância para que a relação entre o calado, seja ele estático ou dinâmico, e profundidade possam oferecer segurança à navegação de navios e contribuam para uma FAQD satisfatória.

Os métodos para mensurar as profundidades possuem diferentes níveis de acurácia. O objetivo principal da Organização Hidrográfica Internacional (OHI) é adotar métodos e procedimentos para aquisição de dados e publicação de cartas náuticas (Mills, 1998). A publicação S44, 5ª edição, da OHI, define quatro tipos de levantamentos hidrográficos, a saber: Ordem especial, mais voltada para portos, áreas mais críticas à navegação, com profundidades até 40 m; Ordem 1 a, onde a preocupação com risco de que um navio toque o fundo não é tão significativa e varia de 40 a 100 m; Ordem 1 b, a área de interesse é inferior a 100 m mas não

possui um grau elevado de acurácia para verificação do fundo e; Ordem 2, mais utilizado para áreas cujas profundidades sejam maiores que 100 m.

No entanto, existem incertezas instantâneas devido ao comportamento de forçantes como correntes, ventos e marés que, se associadas ao levantamento hidrográfico local, podem ser suficiente para aumentar a janela operacional de um porto. Nesse contexto tem-se o calado dinâmico que é quando o calado de um navio pode ser determinado em tempo real, (AYKUT, 2013). A importância do calado dinâmico está na profundidade que pode ser aproveitada e previstas previamente em consonância com essas forçantes que influenciam também em tempo real no dimensionamento vertical dos navios, que quando bem mensuradas, podem garantir maior FAQD, maior distância vertical, que conseguirá aportar navios maiores, elevando a eficiência dos portos. Para isso, países como Austrália e Estados Unidos da América já utilizam o sistema de calado dinâmico bem como se valem da FAQD para melhor aproveitamento de suas vias navegáveis.

Para O'BRIEN (2002), os sistemas de FAQD têm dois principais objetivos: maximizar os calados dos navios em relação à maré ou para uma específica janela de operação e determinar o período que seja possível antecipar ou postergar ao máximo a entrada ou saída de um navio em um porto.

### **3- Fatores relevantes sobre a FAQD**

Os sistemas que calculam o calado máximo seguro para navegação de embarcações são estabelecidos com a finalidade de efetuar uma relação quanto ao risco de que sua quilha toque no fundo a partir das condições ambientais medidas em campo em tempo real, com dados recebidos com o uso de boias de aquisição de dados meteoceanográficos, posicionadas em pontos estratégicos e conhecidas como ODAS (Sistema de Aquisição de Dados Oceanográficos), relacionadas na NORMAM-17/DHN; modelagem hidrodinâmica do local; e os levantamentos batimétricos validados pela Autoridade Competente.

A US Army Corps of Engineers (USACE) desenvolveu o software de modelagem matemática chamado de Channel Analysis and Design Evaluation Tool - CADET® (SILVER, et al., 1997), primariamente foi aplicado para o projeto



de canais nos portos de Savannah (BRIGGS, et al., 2011) e Ambrose (BRIGGS, et al., 2014). Com metodologia similar foi desenvolvido o sistema Environmental Monitoring and Operator Guidance System (EMOGS), conforme SILVER (1992), cujo o objetivo era atuar como sistema de calado dinâmico em tempo real.

BRIGGS, et al.(2015) realizaram um estudo que avaliou três alinhamentos possíveis na entrada do canal do porto de Savannah. Esses alinhamentos foram propostos com a finalidade de permitir navios navegarem em águas mais profundas para redução de custos operacionais. O CADET® foi utilizado para prever a FAQ e os dias /ano de acessibilidade para esses navios. A folga e os resultados de acessibilidade de dias ao longo do ano foram calculadas com base nos movimentos relacionados ao navio como efeito squat, inclinação dinâmica em função de vento e guinadas e a tolerância para resposta das ondas, que inclui os efeitos dos movimentos de roll, pitch e heave do navio (Figura 2). Esse sistema leva em consideração a classe do navio e sua carga.

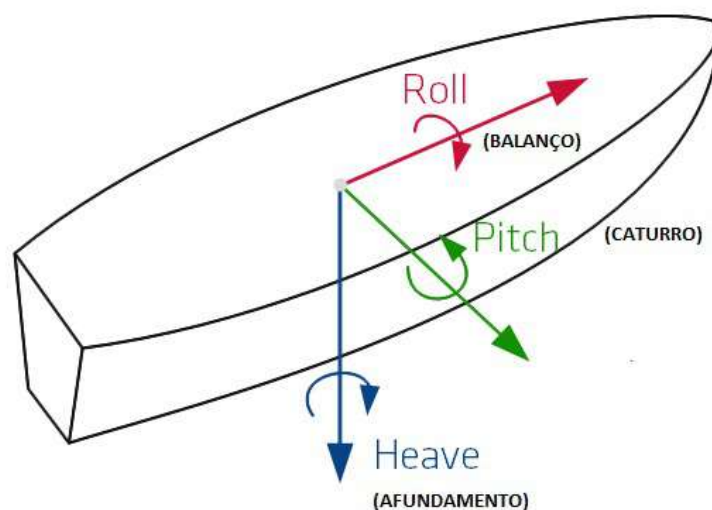


Figura 2- Três dos seis graus de liberdade relativos aos movimentos de um navio a partir de seu centro de gravidade. Fonte: Website <https://engineering.stackexchange.com/questions/15523/are-there-standard-terms-that-correspond-to-the-anatomical-axes-planes-and-dir>. Acessado em: 04 de julho de 2018.

Para validação, nos artigos de BRIGGS (2010 e 2013), foram utilizadas metodologias que valiam-se da recepção de sinal DGPS (Differential Global Positioning System).

Os resultados da previsão do squat (afundamento) e trim de navios devido a sua velocidade à vante, quando navegando em águas rasas (CONSTANTINE, 1960), pela modelagem do CADET® foi comparado com a PIANC e todas as previsões estavam dentro no padrão esperado pelas fórmulas empíricas recomendadas pela PIANC (Briggs, 2015).

Além disso, o Relatório nº 121 da PIANC (2014) recomenda que as fórmulas propostas por ICORELS (1980), Barrass (2002), Yoshimura (1986) dentre outras devem ser utilizadas durante a fase do projeto conceitual, quando os cálculos para o squat de um navio são feitos adotando maior folga e cálculos mais simplificados, em certos casos, não levando em conta a diferença do squat apresentado na proa e na popa. Barrass (2004) afirma que o coeficiente de bloco ( $C_B$ ), o qual determina as características de um casco de navio, é capaz de determinar se o squat é maior na proa ou na popa da embarcação. Os sistemas que relacionam a FAQD levam em consideração as variações de squat calculadas por fórmulas de cálculos de âmbito internacional que consideram outras variáveis como o número de Froude (que relaciona a profundidade com o quadrado da velocidade) auxiliando nos cálculos de afundamento do navio quando navegando em águas rasas. Esse afundamento impacta na diminuição de sua folga abaixo da quilha nas duas fases de planejamento de um canal previstas pela PIANC, o design conceitual e o detalhado.

Releva mencionar, que o squat varia nas diferentes seções dos canais de navegação uma vez que existem profundidades distintas. Ainda indica que as fórmulas propostas por Huuska/Guliev, Eryuzlu2, Römisch, and Tuck para os cálculos de squat são as melhores escolhas para a fase de projeto detalhado, quando o dimensionamento de um canal de navegação leva em consideração fatores reais. Ao final, os modelos matemáticos gerados representam o comportamento de uma embarcação em simuladores de passadiço.

O aproveitamento da variação de maré para aumentar de janela operacional, pode ser associado à incerteza para o nível de referência, ao calado

estático, à variação da densidade da água, ao squat, ao trim e banda e a resposta em ondas quando estes são bem conhecidos e calculáveis de forma acurada. É importante notar também que essa abordagem supõe que as manobras aconteçam dentro de uma margem operacional conhecida, o que está intrinsecamente relacionado à medição das condições de ondas locais, uma vez que existem sempre incertezas na determinação das grandezas citadas e essa abordagem inclui uma margem líquida (*net ukc*) de segurança (que varia de 0,5 a 1,0 m) para que o navio não toque o fundo. Essa variação é função do tipo de fundo, do tipo de canal (desabrigado ou abrigado de ventos e/ou ondas) e do tipo de fundo (ex: para fundo arenoso o valor é de 0,5 ou fundo com pedra 1,0 m). A profundidade de referência adotada nos cálculos corresponde à profundidade de projeto do canal, de forma que ainda existe uma margem adicional relativa à incerteza da própria batimetria local.

O fator densidade da água é relevante para a compreensão de que todos os fatores devem ser compreendidos pelos sistemas na qualidade de variáveis e levados em conta para os cálculos em tempo real da FAQD. Além disso, o Relatório nº121/2014 da PIANC também relata que, se o navio de projeto se move na direção da água de menor densidade, o calado aumenta proporcionalmente à diminuição de densidade e propõe uma fórmula para esse cálculo. A fórmula apresenta a dependência entre o calado do navio de projeto em uma densidade maior e em outra menor é função do coeficiente de bloco ( $C_B$ ) e do coeficiente da área de flutuação (CWP), podendo ser calculada para navios em condição de águas parelhas, ou seja, quando o calado a avante e a ré iguais, conforme abaixo:

$$T_{\delta\text{menor}} = \left( 1 + (\delta_{\text{maior}} - \delta_{\text{menor}}) \frac{C_B}{C_{WP}} \right) T_{\delta\text{maior}}$$

onde

$T_{\delta\text{maior}}$  é o calado do navio na água com densidade maior, expresso em metros (m)

$T_{\delta\text{menor}}$  é o calado do navio na água com densidade menor, expresso em metros (m)

$C_B$  é o coeficiente de bloco;

$C_{WP}$  é o coeficiente de flutuação.

Eq.1 - Fórmula empírica que relaciona a densidade ( $\delta$ ) e o calado de um navio.

Fonte: Modificado de PIANC (2014).

$$C_{WP} \approx \frac{1}{3}(2C_B + 1)$$

Eq.2- Aproximação do coeficiente de flutuação. Fonte: PIANC (2014).

Com a finalidade de verificar essa afirmação, foi feita uma avaliação utilizando exemplos características de navios tipo extraídas da PIANC. Para os cálculos as dimensões escolhidas foram um navio de comprimento de 175 m, boca de 52,5 m, calado de 17,7 m e  $C_B$  0,80.

Foram coletados dados de salinidade, temperatura e profundidade do World Ocean Dataset do NODC/NOAA (National Oceanographic Data Center/ Nacional Oceanic and Atmospheric Administration) e processados no software Ocean Data View (ODV), versão 5.0.0. Pela ausência de dados de estações oceanográficas em regiões mais internas dos portos, foram consideradas as características observadas nas profundidades entre 20 m e 30 m para representar regiões próximas aos portos a serem analisados quanto à influência do aumento do calado em áreas com menores densidade da água do mar.

Supôs-se que o navio de projeto esteja carregado em sua totalidade, ou seja, com calado inicial de 17,7 m, e que deixe o Porto do Rio de Janeiro com destino ao Porto do Cabedelo-PB. Foram confeccionados dois gráficos de que, por meio das linhas isopcnais, permite identificar os valores de densidades da água do mar nos

entornos dos portos citados, nas profundidades mais rasas da plataforma continental que se tem registro de estações oceanográficas (Figuras 4 e 5).

Na Figura 3, cuja seção representa os entornos do acesso à Baía de Guanabara, RJ, observa-se que as menores profundidades, à carmim, estão compreendidas entre as isopicnais de 24 e 25,5, ou seja, entre 1,024 e 1,0255 g/cm<sup>3</sup>. Já na Figura 4, cuja seção foi extraída nas proximidades do Porto de Cabedelo-PB, as menores profundidades estão compreendidas entre as isopicnais de 1,023 e 1,024g/cm<sup>3</sup>. Para o navio em questão, substituindo-se o valor de 0,80 coeficiente de bloco na eq. 2, temos que CWP é aproximadamente 0,87.

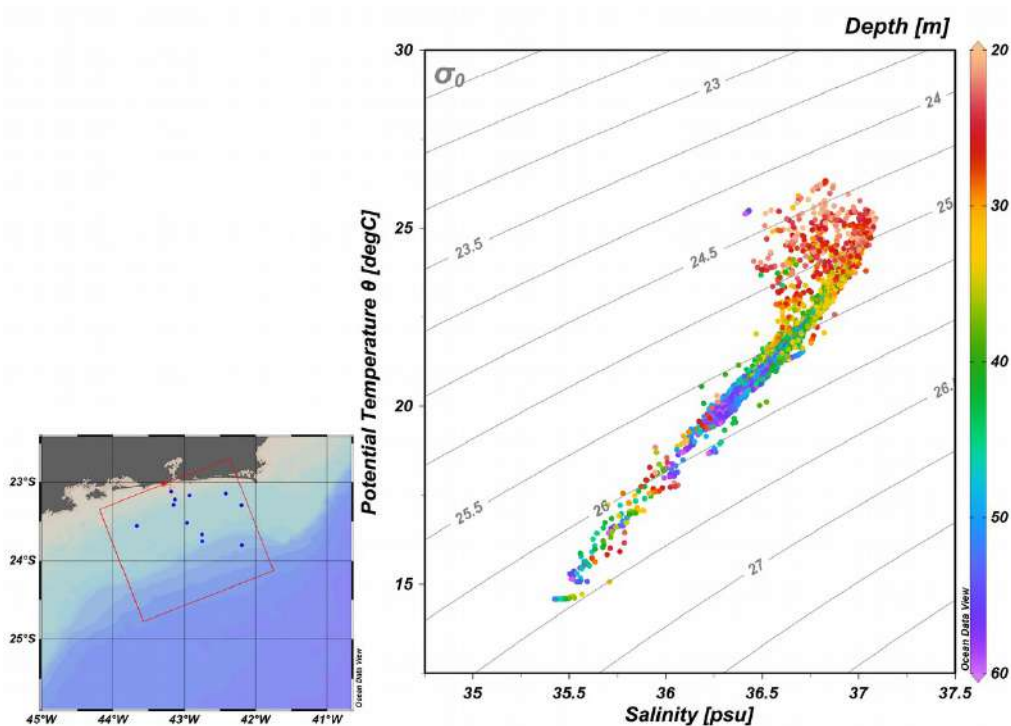


Figura 3 - Representação em gráfico de dispersão no qual observa-se dados de salinidade, temperatura potencial e profundidade de estações oceanográficas nos entornos do acesso ao Porto do Rio de Janeiro-RJ, com a temperatura potencial em ° C (graus celsius); salinidade em psu (Practical Salinity Unit) e profundidade em m (metros).

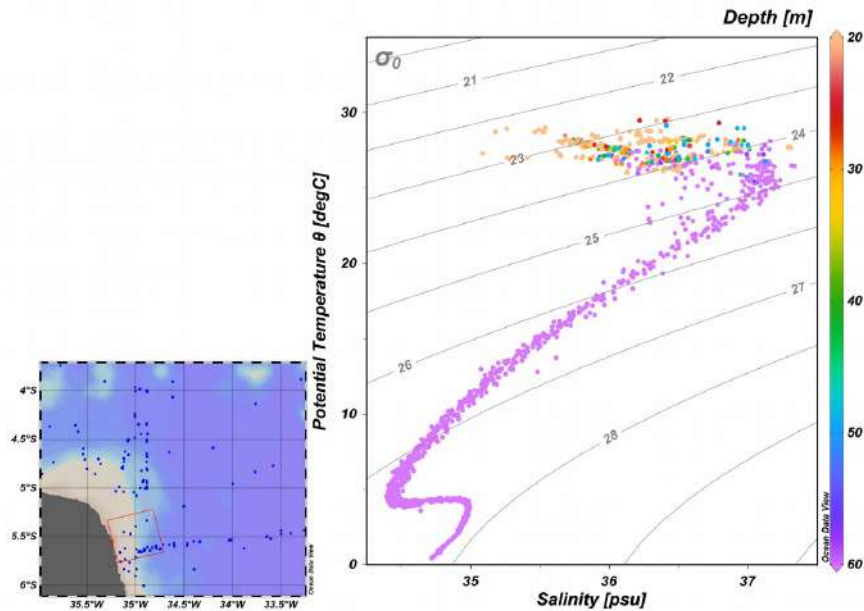


Figura 4 -Representação em gráfico de dispersão realizado no software ODV no qual observa-se dados de salinidade, temperatura potencial e profundidade de estações oceanográficas nos entornos do acesso ao Porto de Cabedelo-PB, com a temperatura potencial em ° C (graus celsius); salinidade em psu (Practical Salinity Unit) e profundidade em m (metros).

Considerando  $1,0255 \text{ g/cm}^3$  para representar a densidade da água para o Porto do Rio de Janeiro e, supondo  $1,024\text{g/cm}^3$  para o Porto de Cabedelo, utilizando o valor de 0,87 para CWP e aplicando na eq. 1, tem-se:

$T_{\delta_{\text{menor}}} = (1 + (\delta_{\text{maior}} - \delta_{\text{menor}}) \cdot (0,80/0,87)) \cdot T_{\delta_{\text{maior}}}$ , onde  $T_{\delta_{\text{maior}}}$  é 17,7 m, considerando navio carregado,

$$T_{\delta_{\text{menor}}} = (1 + (1,0255-1,024) \cdot 0,92) \cdot 17,7 = 17,72 \text{ m.}$$

Ressalta-se que ambos os Portos escolhidos são banhados por água salgada, com distintas latitudes e condições climáticas que são influenciadas pelos seus respectivos fluxos geostroficados. Com isso, pode-se observar que um navio das características do tipo tanque que saia do Porto do Rio de Janeiro -RJ, cuja propriedade da água do mar possui maior valor de densidade e tenha como destino o Porto de Cabedelo-PB, terá aumento em seu calado de 2 cm. Ressalta-se que o consumo de combustível e manobras de carga e lastro são consideradas por ocasião da escolha do navio tipo, uma vez que para cada classe de navios, relacionado aos seus parâmetros operacionais está sua arqueação líquida. O parâmetro físico densidade deverá ser observado e levado em conta, bem como os demais previstos e a serem adotados, por ocasião da modelagem dos sistemas de calado dinâmico de navios, no que tange o dimensionamento dos parâmetros verticais que contribuem para a manutenção da segurança da navegação em vias navegáveis, mitigando os riscos de encalhes oriundo das possíveis incertezas no fundo.

#### **4 – Sistema de Calado dinâmico no Brasil**

Segundo a PORTOS E NAVIOS (2018), já existem sistemas de calado dinâmico no Porto do Rio de Janeiro e em Santos em operação em caráter experimental, conhecido como ReDRAFT®. No porto do Rio de Janeiro, o sistema é apoiado pela praticagem do Rio de Janeiro e embora essa ferramenta ainda não tenha sido validada pela Marinha do Brasil, representante da Autoridade Marítima Brasileira, esse órgão entende que esse sistema contribui para o monitoramento da segurança por ocasião das restrições do acesso pela Barra Grande.

A falta de equipamentos é um fator que restringe o gerenciamento de risco de para a garantia de dados que forneçam segurança para a tomada de decisão da Autoridade Competente para autorização de parâmetros relativos à FAQD. Atualmente, alguns portos no mundo conseguem ter o benefício de sete dias de previsão de alta resolução por meio de um sistema online. RUGGERI et al. (2018) propuseram a implantação de um sistema de cálculo de calado dinâmico baseado nos fatores mencionados e ressaltaram a importância ao final de simulações para verificar a validade dos dados (Figura 5).

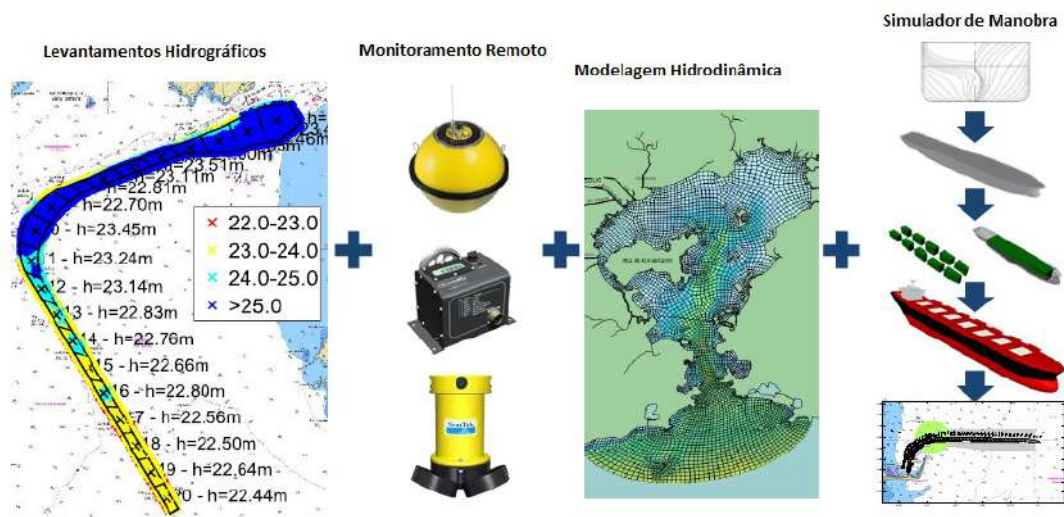


Figura 5 -Sistema Redraft® em operação em caráter experimental no Brasil.  
 Fonte: Modificado de RUGGERI et al. (2018), PIANC-World Congress Panama City, Panama 2018.

No porto de Santos, foram realizadas 1635 manobras com navios de calado acima de 12 m. Com o uso do sistema ReDRAFT® de monitoramento, a restrição de calado de sete dias, seis horas e vinte e cinco minutos, caiu para 4 dias, treze horas e cinquenta minutos. Com auxílio dessa ferramenta, o calado autorizado para o Porto de Santos pôde ser alterado para 13,20 m (Zero DHN) e 14,20 m com maré de um metro (PORTOS E NAVIOS, 2018).

Cabe ressaltar que essas alterações relativas às publicações normativas dos portos bem como das Normas e Procedimentos das Capitânicas dos Portos (NPCP) são levadas em considerações em função de quantidades de manobras realizadas nos locais e em simuladores para verificar sua exequibilidade. No entanto, releva mencionar que os sistemas que preveem o calado dinâmico e a FAQD estão ainda em estudo pela Autoridade Marítima Brasileira embora há registros de sistemas como o DUKC® existente em portos da Austrália e Nova Zelândia estarem em operação desde 1993, efetuando previsão de condições de aproveitamento de maré, squat e demais condições meteoceanográficas (O'BRIEN, 2002).



## 4 – CONCLUSÃO

Tendo em vista o que foi percorrido ao longo desta pesquisa, a necessidade de vias navegáveis isentas da possibilidade de encalhes de navios e que atendam aos navios propostos é de suma importância para a evolução econômica dos maiores representantes mundiais no setor de comércio marítimo. Para tanto, analisar a geometria de um canal de navegação e os fatores que possam definir sua a Folga Abaixo da Quilha por meio da previsão de dados meteoceanográficos, em tempo real, para determinar o calado dinâmico são de essencial importância, uma vez que por meio desses cálculos e simulações, os canais e vias podem ser readequados, principalmente no que se refere aos parâmetros verticais de uma via, para melhor aproveitamento das janelas operacionais portuárias que se adequem às condições ambientais reinantes locais.

Dessa forma, inserem-se os sistemas que calculam a Folga Abaixo da Quilha Dinâmica (FAQD) de Navios que têm contribuído ao redor do mundo, e inclusive no Porto de Santos, com números significativos de manobras que comprovam a otimização das operações portuárias, oferecendo maior segurança das mesmas, por ocasião da prevenção de encalhes e tendo boa aceitação da praticagem local. Cabe ressaltar, que embora alguns portos brasileiros estejam utilizando as vantagens desses sistemas, os mesmos ainda não foram validados e ainda encontram-se em estudo pela Autoridade Marítima Brasileira.

## 5 – REFERÊNCIAS

AYKUT, N.O., ALKAN, R.M., 2010. Hydrographic Education in Turkey and Latest Trends in the World, International Symposium, Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields.

AYKUT, N.O., AKPINAR, B., 2013. Determining the dynamic draught for precise hydrographic surveying

BRASIL. Marinha do Brasil. Diretoria de Portos e Costas. Normas da Autoridade Marítima para obras, dragagens, pesquisa e lavra de minerais sob, sobre e às margens das águas jurisdicionais brasileiras., 2003. (NORMAM-11)

BRASIL. Marinha do Brasil. Diretoria de Hidrografia e Navegação. Normas da Autoridade Marítima para auxílios à navegação. 2017 (NORMAM-11)

BRIGGS Michael J. Comparison of CADET Vertical Ship Motions with DGPS in Ambrose Channel [Conferência] // Ports 2010: Building on the Past, Respecting the Future. - 2010.

BRIGGS Michael J. e Henderson William G. Vertical Ship Motion Study for Savannah, GA entrance channel [Relatório]. - Vicksburg : [s.n.], 2011.

BRIGGS Michael J. Validation of a Risk-Based Numerical Model for Predicting Deep-Draft Underkeel Clearance [Artigo] // Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering. - 2013.

BRIGGS Michael J., Demirbilek Zeki e Lin Lihwa Vertical Ship Motion Study for Ambrose Entrance Channel [Relatório]. - New York : [s.n.], 2014.

BRIGGS M J., Kopps, P.J., Silver, A.L. e Wiggins, W. Probabilistic model for predicting deep-draught channel design: Savannah, GA entrance channel. Ocean Engineering, pag 276–286, 2015.

COMPANHIA DOCAS DO RIO DE JANEIRO. Estudo de Impacto Ambiental – EIA. Projeto de Dragagem do Canal de Acesso e das Bacias de Evolução dos Terminais do Porto do Rio de Janeiro e de Niterói. Rio de Janeiro: CDRJ, Setembro, 2002, Disponível em: [http://www.portosrio.gov.br/downloads/EIA\\_Dragagem\\_2002.pdf](http://www.portosrio.gov.br/downloads/EIA_Dragagem_2002.pdf). Acessado em: 26/08/2017;

CONSTANTINE, T, 1960. On the movement of ships in restricted waterways. Journal of Fluid Mechanics 9 (2), 247-257;

CURTIS B., TURNER M. e BOULAY, S. Simplified Approach to Operationalise UKC calculations. PIANC-World Congress Panama City, Panama 2018

GOURLAY, T.P., 2007. Ship Underkeel Clearance in Waves. Proc.Coast and Ports, Melbourne

HARE, R., 2001. Final Report for Task2, FY 01”, University of Southern Mississippi Hydrographic Science Research Center (HSRC) for Naval Oceanographic Office.

MILLS, G.B., 1998. International hydrographic survey standards. Int. Hydrogr. Rev. 75 (2), 79–85.

O'BRIEN, T. Experience using dynamic underkeel clearance systems: selected case studies and recent developments. PIANC, setembro, 2002.

PIANC, “Approach Channels – A guide for desing: Final rep. Of the joint Working Group PIANC and IAPH in cooperation with IMPA and IALA” (2014)

PORTOS E NAVIOS, página 29, Edição Junho, 2018.

RUGGERI F., WATAI R., ROSETTI, G., TANNURI, E., NISHIMOTO, K. The development Redraft® System in Brazilian Ports for safe underkeel clearance computation. PIANC-World Congress Panama City, Panama 2018

SCHLITZER R., Ocean Data View Software. Version 5.0.0, 2018.

SILVER A. L. Environmental monitoring and operator guidance system (EMOGS) for shallow water ports [Conferência] // Ports '92. - Seattle : [s.n.], 1992.

THORESEN C. A. Port Designer's Handbook [Livro]. - [s.l.] : ICE Publishing, 2014.

## CONCLUSÕES

Um porto que possui vias navegáveis que atendem à segurança da navegação é o baluarte para garantir o avanço de um País e movimentar a economia. Adequar os canais de navegação, bacias de manobras e berços de atracação aos fatores que determinam a Folga Abaixo da Quilha são de grande relevância. Nesse cenário, a lama fluida e sua capacidade de ampliar janelas operacionais de portos sem ter que efetivamente dragar e o monitoramento de dados meteocenográficos em tempo real, podem diminuir os custos operacionais portuários em relação ao volume do material a ser dragado para manter os portos e vias navegáveis adequados e seguros para atender aos navios tipos desejados. Esse fato minimiza impactos ao meio ambiente, como ressuspensão de material contaminado e turbidez.

Engajar um estudo consistente sobre a conjuntura e propriedades que definem a lama fluida permitirá valer-se desse parâmetro de forma mais consistente no cálculo da FAQ nas vias navegáveis brasileiras. Esta revisão da literatura torna-se importante, uma vez que portos brasileiros ainda não se apropriaram do uso da camada de lama fluida voltada para fins de aproveitamento na navegação, assunto que ainda encontra-se em estudo pela Autoridade Marítima Brasileira para posteriormente, ser validado.

Neste trabalho também foi discutido que para analisar a geometria de um canal de navegação e os fatores que possam definir sua a Folga Abaixo da Quilha Dinâmica por meio da previsão de dados meteocenográficos, em tempo real, são de essencial importância, uma vez que por meio desses cálculos e simulações, os canais e vias podem ser readequados, principalmente no que se refere aos parâmetros verticais de uma via. Isso permitirá um melhor aproveitamento das janelas operacionais portuárias se adequando às condições ambientais reinantes locais.

Dessa forma, inserem-se os sistemas que calculam a Folga Abaixo da Quilha Dinâmica (FAQD) de Navios que têm contribuído ao redor do mundo, e inclusive no Porto de Santos, com números significativos de manobras que comprovam a otimização das operações portuárias, oferecendo maior segurança das mesmas, por ocasião da prevenção de encalhes e tendo boa aceitação da praticagem local. Cabe ressaltar, que embora alguns portos brasileiros estejam utilizando as vantagens desses sistemas, os mesmos ainda não foram validados e ainda encontram-se também em estudo pela Autoridade Marítima Brasileira.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que contribuíram diretamente com a realização do meu trabalho, em especial a Deus; meu orientador, Professor Arthur Ayres Neto; minha família; colegas e chefes do Centro de Auxílios à Navegação Almirante Moraes Rego - Marinha do Brasil, que me possibilitaram conciliar o trabalho com as atividades acadêmicas.