

Desmistificando o Estabelecimento dos Parâmetros de Operação Portuária

André Luiz Pimentel Leite da Silva Junior¹

Resumo

O objetivo do artigo é a apresentação de como se dá o estabelecimento dos parâmetros de operação portuária, especialmente o calado máximo recomendável para o canal de acesso ao Porto de Itajaí, que possui alta taxa de assoreamento, dragagem permanente, com fundo composto por sedimento não consolidado e lama fluida.

Palavras-chave: PIANC, Dragagem, Lama Fluida, Levantamento Hidrográfico, Dragagem por Injeção de Água e Calado Máximo Recomendado.

Abstract

The objective of the article is to present how port operating parameters are established, especially the maximum recommended draft for the access channel to the Port of Itajaí, which has a high silting rate, permanent dredging, with a bottom composed of sediment unconsolidated and fluid mud.

Keywords: PIANC, Dredging, Fluid mud, hydrographic survey, Water Injection Dredger, Maximum Draft.

I - Introdução

O Art. 18. da Lei 12.815/2013 estabelece que dentro dos limites da área do Porto Organizado, compete à administração do porto, sob coordenação da Autoridade Marítima, estabelecer e divulgar o calado máximo de operação dos navios, em função dos levantamentos batimétricos efetuados sob sua responsabilidade.

A homologação dos resultados das campanhas de dragagens de implantação em canais de navegação objetiva, entre outros, prover o aumento de calado e alterações de parâmetros de operação portuária e necessita ter ao seu tempo a correspondente carta náutica atualizada. Para tal, faz-se necessário proceder com

¹ Engenheiro Civil, com Habilitação em Engenharia de Produção pela UFSC. Pós Graduado em Logística Empresarial pela Univali. Pós Graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho pela UFSC. Diretor Técnico da Superintendência do Porto de Itajaí entre 2009 e 2020. E-mail: engportoandre@gmail.com.

levantamento hidrográfico - LH de ordem especial, que aqui será tratado como LH-Classe A.

E para o caso de dragagens de manutenção em canais de navegação sujeitos constantemente a elevada taxa de assoreamento, que por sua vez, efetuam operação de dragagem de manutenção permanentemente? Como proceder?

O procedimento que será descrito no presente artigo vem sendo empregado no Porto de Itajaí a alguns anos, com sucesso e segurança, lembrando que o acesso aquaviário ao porto atende a embarcações com comprimento de até 350,00 m e boca de até 48,50 m com navegação a ré, que operam num Porto Público cujo operador portuário e arrendatário de dois berços é a APM Terminals e um Terminal de Uso Privativo – TUP Portonave, cuja movimentação de contêineres somada, corresponde ao 2º porto brasileiro em quantidade de contêineres.

II – Tipos de Dragagens e Classes de Levantamentos Hidrográficos

A NORMAM-11/DPC trata de procedimentos para a realização de obras sob, sobre e às margens das Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB), define que dragagem de implantação é a realizada para implantação, ampliação ou aprofundamento de canais de navegação, bacias de evolução, diferentemente de dragagem de manutenção, que é a realizada para restabelecer total ou parcialmente as condições originalmente licenciadas.

Já a NORMAM-25/DNH, que estabelece normas e procedimentos para autorização e controle dos Levantamentos Hidrográficos (LH), diferencia e classifica os diferentes tipos de levantamento hidrográfico (LH) em Categoria “A”, que são os realizados utilizando especificações técnicas que permitam que os dados obtidos sejam aproveitados na atualização de documentos náuticos e os Categoria “B”, que são os LH executados sem o propósito de produzir elementos que sirvam para atualização de documentos náuticos.

Para dragagem de implantação, que também é chamada de dragagem de aprofundamento, adequação ou dragagem capital, o procedimento para alteração de parâmetros de operação portuária está bem claro, ou seja, após a execução das obras, faz-se necessário apresentar a Planta Final de Situação (PFS) e execução de um LH Categoria “A”, que deverá ser analisado pelo Centro de Hidrografia de Marinha (CHM), e desde que atenda as especificações previstas na Publicação Especial nº 44 (S-44) –

“Especificações da Organização Hidrográfica Internacional para Levantamentos Hidrográficos” e requisitos da NORMAM-25/DNH.

E para dragagem de manutenção? Como proceder para estabelecer parâmetros de operação portuária em Portos Organizados localizados em estuários sujeitos a elevadas taxas de assoreamento, com dragagem de manutenção permanente? Esse tem vem sendo bastante debatido no país, e é o tema principal abrangido no presente artigo.

III – Conceitos Importantes

Para facilitar a compreensão, cabe apresentar três conceitos importantes, de interesse à navegação.

Calado Máximo Recomendado (CMR), é o calado máximo, em metro, para o qual uma embarcação pode ser carregada em um dado conjunto de condições, mantendo a suficiente FAQ para garantir a passagem segura através de um canal de acesso, canais internos ou de aproximação, bacias de evolução e dos berços (NORMAM-33/DPC). O cálculo do CMR, obedece à seguinte fórmula:

$$\text{CMR} = \text{MPOC} + \text{HM} - \text{FAQ}$$

Menor Profundidade Observada no Canal ou trecho do canal (**MPOC**), é a menor profundidade observada no canal ou trecho do canal, referida ao nível de redução da Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN, extraídos de planta batimétrica (Normas e Procedimentos da Capitania dos Portos de Santa Catarina NPCP-SC).

Folga Abaixo da Quilha (FAQ) é a distância entre o ponto mais baixo da quilha e o fundo marinho, e representa a margem de segurança para evitar o encalhe ou a colisão com o relevo submarino ou com objetos submersos (NORMAM-33/DPC). São seis fatores de segurança, a saber: tolerância para incertezas no calado estático, alterações na densidade da água, efeito squat, inclinação dinâmica em razão de vento e a guinadas, tolerância para a resposta às ondas e FAQ líquida.

Altura de Maré (HM) é a altura de maré prevista no instante de interesse a partir da Tábua de Marés editada pela Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN, ou altura de maré observada, em metro.

IV – O Assoreamento

Historicamente, as profundidades naturais do rio variam entre 6,5m e 7,0m, ou seja, absolutamente insuficientes para a navegação de navios porta containers, conforme imagem a seguir:

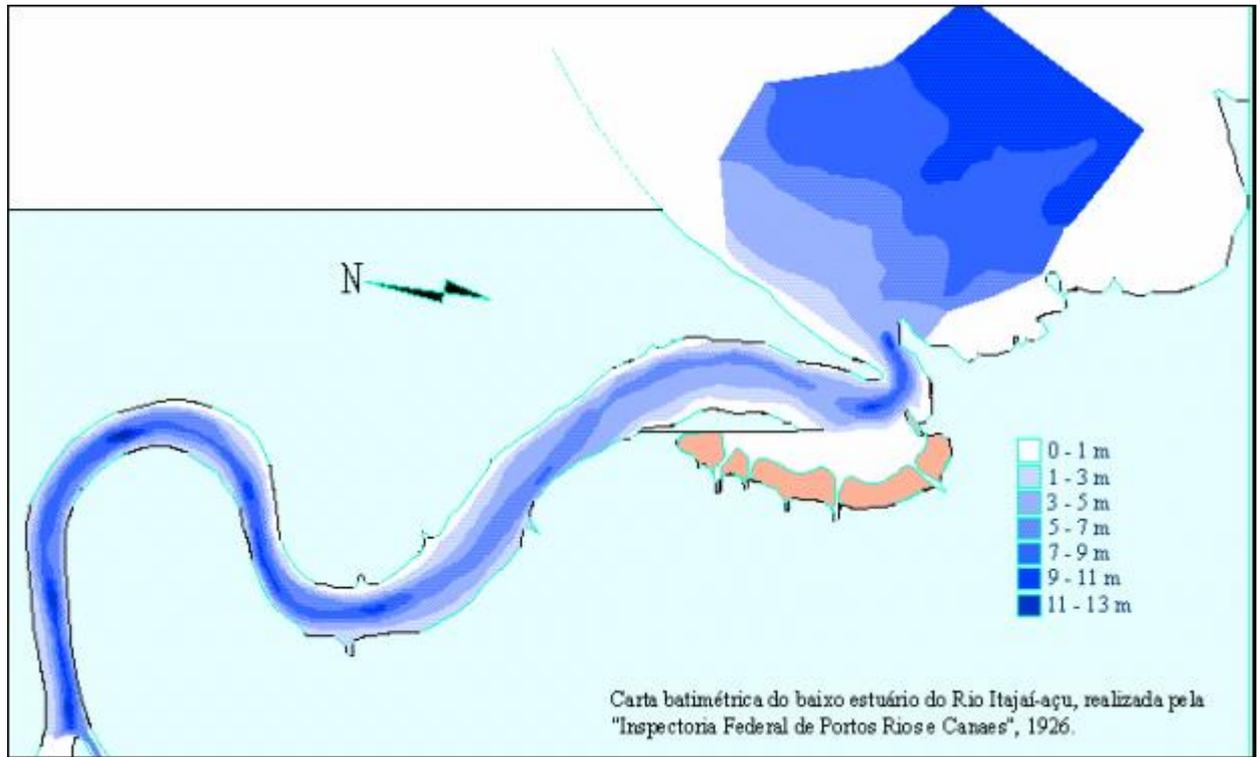


Figura 1. Carta batimétrica do baixo estuário do rio Itajaí-Açu, em 1926. Fonte: ACQUAPLAN (2016).

O canal vem sendo mantido artificialmente com dragagem permanente até a profundidade de dragagem entre 14,00m e 14,50m, ou seja, o **dobro** do natural, valores esses que viabilizam a operação portuária.

Até aproximadamente o ano de 2011, o assoreamento anual era estimado em algo em torno de 1,8 a 2,0 milhões de m³/ano, considerando a profundidade de 11,00m e 11,30m.

Após as obras de dragagem de aprofundamento para 14,00m, o Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH), no ano de 2012, elaborou o estudo “Estimativa Preliminar da Taxa de Assoreamento”, que estimou taxa de assoreamento anual, para o canal de navegação vigente a época, variando entre 2,2 a 2,6 milhões de m³/ano.

Já para o atual canal, com maior largura e com a nova bacia de evolução, vigente a partir de 2019, a empresa holandesa ARCADIS, estimou em 3,1 milhões de m³/ano.

Também para o atual canal, a empresa Hidrotopo Consultoria e Projetos, com base em estudos diversos, boa prática de engenharia e experiência da empresa que efetua levantamentos hidrográficos no Porto de Itajaí a mais que uma década, confirmou o volume de assoreamento anual em 3,1 milhões de m³/ano, estimando uma tolerância de até 10% (2,79 milhões de m³/ano em anos mais secos e 3,41 milhões de m³/ano em anos mais chuvosos).

Essa elevada taxa de assoreamento possui variações nos padrões de deposição ao longo do tempo e não se distribui linearmente, uma vez que canal de navegação é localizado num estuário de elevada complexidade hidráulico-sedimentológica, regime hídrico complexo e sujeito a enchentes que são longe de serem inesperadas, especialmente por fatores antrópicos e intensas mudanças climáticas. Enfim, não é nada fácil manter o canal de acesso sempre com profundidades adequadas a segurança da navegação.

Para manter o canal nessas cotas, deve-se no mínimo conhecer o assoreamento do canal de navegação, ter bem caracterizado o tipo de sedimento, e possuir um planejamento e técnica de dragagem para manter a navegação eficiente e segura e ter recursos financeiros, além de equipe de técnicos qualificados a supervisionar as obras de dragagem. Deve efetuar constantemente medições de profundidade por meio de levantamentos hidrográficos, obrigatoriamente integrante do Cadastro de Entidades Executantes de Levantamentos Hidrográficos (CEELH), do CHM. Parece simples, mas não é.

V – Os Critérios de Medição de Serviços de Dragagem

Vejamos o que diz a Associação Mundial de Infraestrutura de Transporte Marítimo, ou PIANC. Ele diferencia profundidade nominal do canal, que aqui será tratada de cota de navegação, da profundidade de dragagem do canal, que aqui será denominada cota de dragagem.

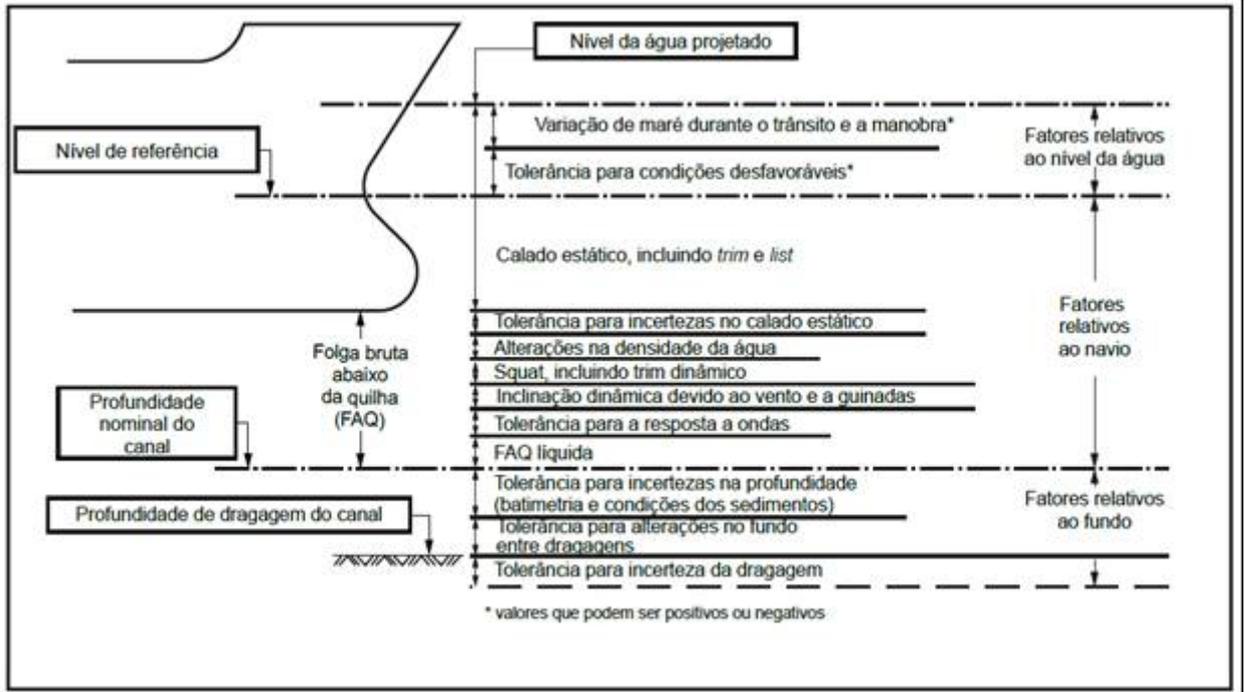


Figura 2: Cota de dragagem versus cota de navegação. Fonte: Adaptado do PIANC

Os requisitos de dragagem de manutenção, foram adotados seguindo as definições do PIANC. As cotas estabelecidas no acesso aquaviário ao porto são:

Trecho do canal de navegação	Cota de Navegação	Cota de Dragagem	Tolerância para incerteza de dragagem
Bacia de evolução Nº 01	13,50 m	14,00 m	0,30 m
Bacia de evolução Nº 02	13,50 m	14,00 m	0,50 m
Canal interno	13,50 m	14,00 m	0,50 m
Canal externo	14,00 m	14,50 m	0,50 m

Tabela 1: Cotas de navegação e de dragagem do Porto de Itajaí. Fonte: Projeto básico de dragagem de manutenção. (2018).

A seguir, é apresentado o croqui do canal de navegação, e seus quatro trechos distintos:

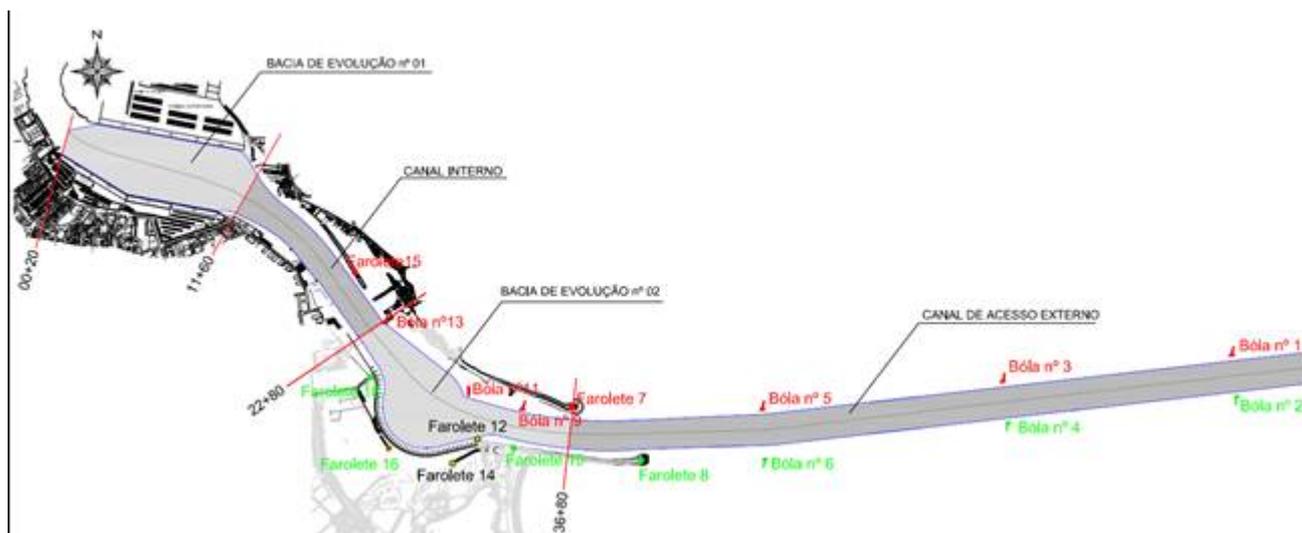


Figura 3: Trechos do canal de navegação. Fonte: Do autor.

Para o Porto de Itajaí, os valores vigentes de FAQs são estáticos e divididos ao longo seções do canal sendo adotado o percentual de 15% do calado do navio para o canal externo, 10% do calado do navio para o canal interno e bacia de evolução nº 2 e na bacia de evolução nº 1 e berços de atracação, a FAQ é de 0,60 metros.

Aplicando o conceito de CMR para cada trecho do canal e adotando o correspondente valor de FAQ, considerando a maré zero, temos o maior valor de calado na maré zero igual a 12,17m, conforme planilha a seguir:

Trechos do Canal de Navegação	MPOC (m)	Mínima FAQ NPCP/SC	Maré (m)	Calado Pretendido (m)	CMR (m)	FAQ Calculada (m)	Maré Desejada (m)
Bacia de Evolução N° 01	13,50	0,6 M	0,00	12,17	12,90	0,60	-0,73
Canal Interno	13,50	10% calado	0,00	12,17	12,28	1,22	-0,11
Bacia de Evolução N° 02	13,50	10% calado	0,00	12,17	12,28	1,22	-0,11
Canal Externo	14,00	15% calado	0,00	12,17	12,17	1,83	0,00

Tabela 2: Calado Máximo Recomendado (CMR) para as cotas de navegação. Fonte: Autor.

Com a adoção desse critério e empresa holandesa Van Oord Marine Ingenuity, atualmente responsável pela dragagem de manutenção, que possui mais de 150 (cento e cinquenta) anos de experiência em dragagem, utilizou sua engenharia para que as cotas de navegação sejam sempre mantidas.

Para manutenção das cotas de navegação, a estratégia de dragagem adotada pela Van Oord é planejar e executar campanhas com draga auto-transportadora até a cota de dragagem, mantendo as cotas de navegação com equipamento do tipo *Water injection dredger- WID* (injeção de água).

A aferição das cotas, ou seja, o critério de medição estabelecido em contrato, se dá por meio da execução de LH Categoria “B”, mensais, com ecobatímetro multifeixe de alta frequência ($f \geq 200\text{kHz}$).

VI – Considerações sobre Fundo Náutico e Lama Fluida

Lama fluida é um material sedimentar suficientemente pesado para não ser suspenso, porém não dotado de uma força de cisalhamento (força de tensão de corte) semelhante ao sedimento consolidado.

Fundo náutico é definido como o nível onde o fluido navegável termina e o leito do rio não navegável começa. Como determinar esse limite não é simples, uma vez que as propriedades da lama fluida dependem de algumas variáveis, como hidrodinâmica, cisalhamento, viscosidade, características das partículas, entre outras.

Frequentemente, em vias fluviais localizadas em faixas de clima quente, mais precisamente em regiões estuarinas onde a água doce do rio, rica em minerais, mistura-se à água salgada do mar, como é o caso do canal de navegação do Porto de Itajaí. Exatamente na área onde as duas águas se misturam, os minerais conduzidos pela água doce reagem com a água salgada dando origem ao composto chamado floculação. As partículas da floculação possuem densidade bem próxima à da água, podendo permanecer em suspensão por longos períodos de tempo.

Considerando que o leito do canal de navegação do Porto de Itajaí é coberto de lama fluida em suspensão, concomitantemente ao emprego de sondagens multifeixe, também são realizados LH Categoria “B” com ecobatímetro monofeixe em dupla frequência ($f = 33\text{ kHz}$ e $f = 200\text{ kHz}$) e geração de perfis de densidade in-situ da coluna d’água, utilizando densímetro não-radiativo do tipo *densitune*. Todos esses serviços de hidrografia são executados pela empresa Hidrotopo Consultoria e Projetos, com mais de 30 (trinta) anos de atuação no mercado.

Ensaio reológico realizados em 2016 indicam que camadas lamosas de até 1.190 Kg/m^3 oferecem muito pouca resistência ao escoamento ($<10\text{Pa}$) e indicam o limite de navegabilidade para o valor da densidade de 1.290 Kg/m^3 (100 Pa) (UFRJ, 2016).

O croqui a seguir apresenta pontos no eixo do canal de navegação a diferença de camadas entre sondagens $f = 33\text{ kHz}$, $f = 210\text{ kHz}$ e medições de densidade por *densitune*, até o valor de 1.190 Kg/m^3 que corresponde a resistência

ao cisalhamento inferior a 10 Pa (água), que sob a opinião do autor é sugestivo para iniciar manobras-testes de entrada e saída de embarcações:

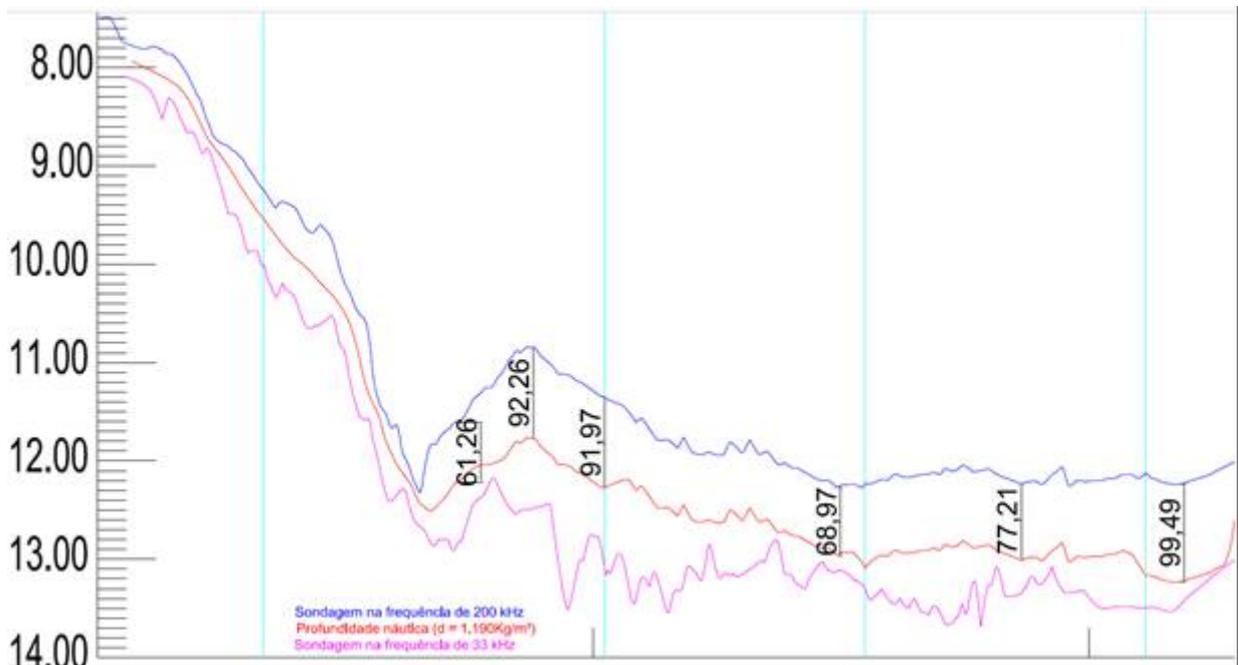


Figura 4: Definição de fundo náutico. Fonte: Hidrotopo Consultoria e Projetos (2017).

Observa-se que há uma diferença entre a batimetria de $f = 200 \text{ kHz}$ e a medição de densidade até 1.190 Kg/m^3 de 0,61m, 0,92m, 0,69m, 0,77m e 0,99m, que poderia repercutir em ganho de calado na ordem de 0,60m

Esses estudos, ensaios reológicos e ampla séria histórica de LHs em dupla frequência apontam para a necessidade de que Autoridade Portuária, sob a coordenação da Autoridade Marítima, reavaliem futuramente o planejamento e o gerenciamento da navegabilidade do canal de acesso, para evoluir o conceito de profundidade náutica, visando inclusive definir um ponto de equilíbrio aceitável entre a segurança da navegação, custo de dragagem de manutenção do canal de navegação e melhorias nos critérios de medição futuros de serviços de dragagem.

Quando isso acontecer, os critérios de medição de serviços de dragagem poderão ser reestudados, e acredita-se ainda que o custo de dragagem de manutenção também poderá ser reduzido.

VII – Como se dá o Estabelecimento dos Parâmetros de Operação Portuária

É inviável que todos os LHs efetuados sob a responsabilidade da Autoridade Portuária para acompanhamento de serviços de dragagem de manutenção permanente sejam classificados como Categoria “A”, pois vai contra os princípios da economicidade, razoabilidade e eficiência submeter ao CHM de três em três meses LHs Categoria “A”, cuja análise pelos Hidrógrafos é complexa e demanda tempo, uma vez o CHM analisa todos os LHs do Brasil, além de custar muito caro, tanto para o porto, quanto para a Autoridade Marítima.

Também não é eficiente e tecnicamente inviável, pois não mais estarão representando com exatidão a realidade do canal, após três meses, uma vez que o fundo é móvel, em constante processo de assoreamento e com dragagem permanente.

Da mesma forma, o planejamento do LH Categoria “A”, sua execução, processamento, elaboração do relatório, protocolo junto ao CHM, análise dos dados, respostas aos eventuais pedidos de informação, reanálise e, se for o caso, aproveitamento dos dados demanda bastante tempo, por exemplo, 90 (noventa) dias. Na prática, após 90 dias, o leito do rio já sofreu alteração e os resultados do LH estarão representando o passado.

Sendo assim, periodicamente, o porto apresenta os resultados dos LH Categoria “B” multifeixe com $f \geq 200$ kHz, com a sugestão de valores de MPOC aos Serviços de Praticagem e Autoridade Marítima local.

Na prática, é efetuada uma análise “simplificada” do LH, por meio da leitura das profundidades nas plantas dos levantamentos batimétricos (LH Categoria “B”), uma vez que há confiabilidade nas empresas, uma vez que são cadastradas do CHM da Marinha do Brasil.

Após as devidas análises, os valores são sugeridos, e, finalmente, a Autoridade Portuária estabelece e divulga o calado máximo de operação dos navios, em função dos levantamentos batimétricos efetuados sob sua responsabilidade. Os valores das MPOC são revisados periodicamente, aproximadamente de três em três meses.

VIII – Exemplo Prático de Estabelecimento de Parâmetros e Divulgação de Calado Máximo

A seguir, é apresentado o croqui resultante de um LH efetuado pela empresa Hidrotopo Consultoria e Projetos:



Figura 5: Carta batimétrica do baixo estuário do rio Itajaí-Açu e projeção na Carta Náutica 1841, em 2020. Fonte: Hidrotopo (2020).

O mesmo é submetido à coordenação da Autoridade Marítima e para os Serviços de Praticagem. Após as devidas análises e manifestações, a Autoridade Portuária procede com a divulgação dos Menores Profundidades Observadas no Canal (MPOC), conforme tabela a seguir:

Trecho	MPOC (m)	Mínima FAQ NPCP/SC
Berço 1 do Porto de Itajaí	13,80	0,6 m
Berço 2 do Porto de Itajaí	13,70	0,6 m
Berço 3 do Porto de Itajaí	13,60	0,6 m
Berço 4 do Porto de Itajaí	13,60	0,6 m
Berço 1 do TUP Portonave	13,30	0,6 m
Berço 2 do TUP Portonave	13,40	0,6 m
Berço 3 do TUP Portonave	13,40	0,6 m
Bacia de Evolução N° 01	13,70	0,6 m
Canal Interno	13,90	10% calado
Bacia de Evolução N° 02	13,80	10% calado
Canal Externo	14,30	15% calado

Tabela 3: Mínimas profundidades observadas para as cotas de navegação. Fonte: Autor.

Aplicando a fórmula ($CMR = MPOC + HM - FAQ$) para cada trecho do canal e adotando o correspondente valor de FAQ, considerando a maré zero, procede-se com o cálculo de calado pretendido até que a maré desejada na manobra se aproxime ao máximo de zero.

Para o caso a seguir, ficou estabelecido o calado máximo do Berço 1 do Porto de Itajaí, igual a 12,43m na maré zero.

Trechos do Canal de Navegação	MPOC (m)	Mínima FAQ NPCP/SC	Maré (m)	Calado Pretendido (m)	Calado na Maré Zero (m)	FAQ Calculada (m)	Maré Desejada (m)
Berço 1 do Porto de Itajaí	13,80	0,60 m	0,00	12,43	13,20	0,60	-0,77
Bacia de Evolução N° 01	13,70	0,60 m	0,00	12,43	13,10	0,60	-0,67
Canal Interno	13,90	10% calado	0,00	12,43	12,66	1,24	-0,23
Bacia de Evolução N° 02	13,80	10% calado	0,00	12,43	12,56	1,24	-0,13
Canal Externo	14,30	15% calado	0,00	12,43	12,44	1,86	-0,01

Tabela 3: Cálculo do calado máximo na maré zero. Fonte: Autor.

Caso o navio venha a necessitar de maior calado, basta somar o valor da maré no instante da janela de operação, em fase de planejamento consultando as previsões de maré oficiais disponibilizados pela Marinha do Brasil e no momento da manobra consultando leituras de maré com marégrafo no cais da praticagem, que transmite em tempo real as leituras por meio de aplicativos e internet.

Analogamente procede-se com o mesmo cálculo para todos os 07 (sete) berços de atracação no interior do Porto Organizado de Itajaí, ou Complexo Portuário de Itajaí e Navegantes.

Essa metodologia auxilia ainda no planejamento das próximas campanhas de dragagem, visando não simplesmente buscar a maior profundidade, e sim o maior ganho de calado.

IX – Considerações Finais

Essa metodologia vem sendo empregada com eficiência no âmbito do Porto Organizado de Itajaí com sucesso, e certamente contribui com a eficiência das operações portuárias e segurança da navegação.

Há pontos de melhoria a serem explorados no futuro, pois o Autor entende que o momento é propício e há maturidade entre as Autoridades Marítima e

Portuária e Serviços de Praticagem, para dar continuidade a assuntos que a anos vem sendo comentado e são longe de serem inéditos.

O primeiro deles estabelecer parâmetros de navegação levando em consideração a definição de profundidade náutica uma vez que o leito do rio Itajaí-Açu possui lama fluida, fundo móvel, não consolidado, e, conforme indicando estudos e medições de densidade, estabelecer, inicialmente, o limite de escoamento admissível de 10 Pa, e, portanto, da densidade de 1.190 Kg/m³, pode ser sugerido como referência para a definição de profundidade náutica.

O segundo é navegação com a adoção de Folga Abaixo da Quilha Dinâmica – FAQD ou, *Dynamic UnderKeel Clearance* (DUKC), necessário a implantação do calado dinâmico, recentemente normatizado pela Marinha do Brasil (NORMAM 33/DPC).

Referências

ARCADIS. **Restructuring Study Turning Basin 5, Port of Itajai, Brazil**. 4 october 2013.

CRUZ, C. et al. **A Economia na Foz do Rio Itajaí-Açu Setor Portuário**. Atlas Ambiental da Foz do Rio Itajaí-Açu. (2017).

HIDROTOPO CONSULTORIA E PROJETOS LTDA. **Projeto Básico de Dragagem de Manutenção do Canal de Navegação e das Bacias de Evolução do Rio Itajaí-SC**. Agosto de 2018.

HIDROTOPO CONSULTORIA E PROJETOS LTDA. **Perfil Longitudinal para Estudo da Profundidade Náutica do Acesso Aquaviário ao Porto de Itajaí**. Janeiro de 2017.

MARINHA DO BRASIL. DIRETORIA DE PORTOS E COSTAS (DPC). **Normas da Autoridade Marítima para Obras, Dragagem, Pesquisas e Lavra de Minerais sob, sobre e às Margens das Águas Jurisdicionais Brasileiras**: NORMAM-11/DPC – 1ª Revisão, (2017).

MARINHA DO BRASIL. DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). **Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos**: NORMAM-25/DHN – 2ª Revisão, (2017).

MARINHA DO BRASIL. DIRETORIA DE PORTOS E COSTAS (DPC). **Normas da Autoridade Marítima para Implantação e Operação de Sistemas para Determinação de Folga Dinâmica Abaixo da Quilha**: NORMAM-33/DPC, (2019).

MARINHA DO BRASIL. CAPITANIA DOS PORTOS DE SANTA CATARINA. **Normas e Procedimentos da Capitania dos Portos de Santa Catarina**: NPCP-SC, (2016).

PIANC. HARBOUR APPROACH CHANNELS - DESIGN GUIDELINES. MARITIME NAVIGATION COMMISSION. Bruxelles: PIANC Secrétariat Général, 2014. ISBN 978-2-87223-210-9.

SECRETARIA ESPECIAL DE PORTOS. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS HIDROVIÁRIAS (INPH). Estimativa Preliminar da Taxa de Assoreamento após as Obras de Ampliação do Porto de Itajaí – SC, fevereiro de 2012. INPH 004/12, Código Itajaí 300-16.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. LABORATÓRIO DE DINÂMICA DE SEDIMENTOS CORSIVOS (LDSC). Estudos para a Definição da Profundidade Náutica no Porto de Itajaí, SC, 2016.