

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

Bianca Farias

Avaliação da Deposição de Sedimentos no Canal do Porto de Itajaí

Joinville

2022

Bianca Farias

Avaliação da Deposição de Sedimentos no Canal do Porto de Itajaí

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura.
Orientadora: Dra. Eng. Helena Paula Nierwinski

Joinville

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Farias, Bianca
AVALIAÇÃO DA DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS NO CANAL DO PORTO
DE ITAJAÍ / Bianca Farias ; orientadora, Helena Paula
Nierwinski, 2022.
63 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville,
Graduação em Engenharia Civil, Joinville, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. I. Nierwinski, Helena Paula . II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Civil. III. Título.

Bianca Farias

Avaliação da Deposição de Sedimentos no Canal do Porto de Itajaí

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura.

Joinville, 28 de julho de 2022.

Prof. Dr. Marcelo Heidemann
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Eng. Helena Paula Nierwinski
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Eng. Julián Asdrubal Buriticá García
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^a. Dr^a. Eng. Valéria Bennack
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng^a. Priscila Petruy
Porto Itapoá

Joinville, 2022.

Este trabalho é dedicado aos meus pais Cleide Regina Quintino
Farias e Robson Farias.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, que me deram apoio e acreditaram na minha jornada durante estes anos de faculdade, que foram pilares na minha educação e por muitas vezes abriram mão de seus projetos para que eu pudesse conquistar os meus. Esta jornada não teria sido possível sem vocês ♥.

Também preciso agradecer aos meus familiares que me incentivaram ao longo deste processo e aos meus amigos que se mantiveram firmes durante toda a jornada acadêmica, que participaram de alguma forma no apoio de todo o caminho para a realização deste trabalho.

Agradeço especialmente a minha orientadora, que acompanhou este processo de evolução pessoal e profissional e deu seu voto de confiança quanto ao comprometimento com este trabalho, que acreditou no meu potencial e me incentivou a concluir este projeto.

Aos meus professores de graduação que se tornaram pilares como exemplos de resiliência e profissionalismo. A empresa Van Oord que me possibilitou visitar seus equipamentos de dragagem e não mediram esforços em proporcionar o conhecimento no desenvolvimento deste projeto.

Agradeço a Suzane e Dailiane que foram suporte essencial durante a execução deste trabalho, e não mediram esforços em acreditar e dar apoio na conclusão deste projeto. Também agradeço a Claudia e ao Joelcir que me apoiaram e me deram a oportunidade de aprender tanto na minha jornada como parte do Porto de Itajaí.

Por fim, agradeço especialmente ao Porto de Itajaí pelas oportunidades concedidas em poder realizar meu estágio e trabalho de conclusão de curso, oferecendo todo o amparo com conhecimento e informações essenciais para a realização deste projeto.

A ciência de hoje é a tecnologia de amanhã. (TELLER, 2006)

RESUMO

O Porto de Itajaí teve suas obras concluídas em agosto de 2007, desde então o terminal passa por diversas obras de manutenção e alargamento de sua via navegável, com o objetivo de ampliar a sua capacidade de transporte marítimo. Em 2016 iniciou-se a mais recente obra de aprofundamento e modificação da bacia de evolução. Esta obra contou com um trabalho intenso de dragagem e avaliação de sedimentos do local. Após finalizadas as obras de dragagem para atingimento da cota de projeto, se fez necessário manter a profundidade do canal em meio a intempéries, tornando fundamental a dragagem de manutenção. Para se calcular o tempo destas manutenções é importante avaliar o volume de sedimentos acumulados no canal, juntamente com os fatores que impactam diretamente este evento natural. Este trabalho apresenta a utilização de metodologias empíricas para avaliação preditiva do transporte de sedimentos do estuário, comparando-se com os valores de projeto fornecidos pelo Porto. Esta avaliação foi feita por meio de caracterização do solo do local, verificação das características geomorfológicas, geológicas e climáticas da região e a aplicação de três metodologias empíricas, comparando-se com os valores obtidos pela metodologia apresentada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH) e posteriormente pelos valores medidos pelo Porto. Foi possível concluir que os métodos utilizados: Einstein, Van Rijn e Pioneiro, apresentam uma variação considerável em seus resultados, quando comparado ao valor real dos sedimentos medidos no local, e ainda, pela metodologia utilizada pelo INPH. Estas previsões tornam-se imprecisas frente à falta de variáveis relacionadas aos efeitos climáticos e geomorfológicos do ambiente, trazendo uma importância no aprofundamento de tecnologias voltadas ao tema, e na utilização de *softwares* robustos para previsões mais precisas de sedimentação em vias marítimas navegáveis.

Palavras-chave: Vias Navegáveis. Sedimentologia. Dragagem.

ABSTRACT

The Port of Itajaí had its works concluded in August 2007, since then the terminal has undergone several maintenances works and the expansion of its waterway, with the aim of expanding its maritime transport capacity. In 2016, the most recent work to deepen and modify the evolution basin began. This work involved intensive dredging and sediment assessment at the site. After the dredging works were completed to reach the project quota, it was necessary to maintain the channel depth in the midst of bad weather, making maintenance dredging essential. In order to calculate the time of these maintenances, it is important to evaluate the volume of sediments accumulated in the channel, together with the factors that directly impact this natural event. This work presents the use of empirical methodologies for predictive evaluation of sediment transport in the estuary, comparing with the project values provided by the Port. This evaluation was carried out through characterization of the soil of the place, verification of the geomorphological, geological and climatic characteristics of the region and the application of three empirical methodologies, comparing with the values obtained by the methodology presented by the National Institute for Waterway Research (INPH) and later by the values measured by Porto. It was possible to conclude that the methods used: Einstein, Van Rijn and Pioneiro, present a considerable variation in their results, when compared to the real value of the sediments measured in the place, and also, by the methodology used by the INPH. These predictions become imprecise due to the lack of variables related to the climatic and geomorphological effects of the environment, bringing an importance in the deepening of technologies focused on the theme, and in the use of robust software for more accurate predictions of sedimentation in waterways.

Keywords: Dredging. Sedimentology. Waterways.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Fluxograma Básico de Implantação Inicial de uma Via Navegável..... | 15 |
| Figura 2 – Projeto da Nova Bacia de Evolução..... | 25 |
| Figura 3 – Diagrama de Shields..... | 27 |
| Figura 4 – Relação entre parâmetros intensidade de escoamento e intensidade de transporte..... | 29 |
| Figura 5 – Mapa Geomorfológico da Região Costeira Centro-Norte Catarinense..... | 35 |
| Figura 6 – Representação da Maré Astronômica..... | 36 |
| Figura 7 – Média da Precipitação Mensal do Município de Itajaí..... | 37 |
| Figura 8 – Direção Média dos Ventos na Foz do Rio Itajaí-Açu..... | 38 |
| Figura 9 – Sistema unificado de classificação para solos finos..... | 49 |
| Figura 10 – Carta de Plasticidade..... | 49 |
| Figura 11 – Análise de solo realizada pela Hidrotopo..... | 50 |
| Figura 12 – Sondagem SPT no Porto de Itajaí..... | 51 |
| Figura 13 – Peso específico de solos argilosos..... | 52 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Resumo da análise granulométrica por peneiramento..... | 45 |
| Tabela 2 – Ensaio de sedimentação..... | 46 |
| Tabela 3 – Dados do ensaio de Limite de Liquidez..... | 47 |
| Tabela 4 – Dados do ensaio de Limite de Plasticidade..... | 48 |
| Tabela 5 – Dados do ensaio de determinação de Densidade Real..... | 48 |
| Tabela 6 – Profundidades históricas do canal do Porto de Itajaí..... | 55 |
| Tabela 7 – Avaliação da descarga de sedimentos por métodos empíricos..... | 56 |
| Tabela 8 – Avaliação da sedimentação por métodos empíricos..... | 57 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ADCP | Acoustic Doppler Current Profiler |
| DNER | Departamento Nacional de Estradas de Rodagem |
| INPH | Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias |
| ME | Método de Ensaio |
| SPT | Standard Penetration Test |
| TSHD | Trailing Suction Hopper Dredge |

LISTA DE SÍMBOLOS

h_v = número de segundos em um ano

D_* = parâmetro adimensional da partícula

d_{50} = diâmetro médio dos depósitos de fundo

g_s = descarga unitária em massa de sedimentos

q_s = descarga unitária em volume

u_* = velocidade de cisalhamento

u_{cr*} = velocidade de cisalhamento crítica

γ_s = peso específico do sedimento submerso

θ_{cr} = parâmetro adimensional de mobilidade crítica

ρ_s = massa específica do sedimento

τ_0 = tensão cisalhante no fundo do canal

C = concentração média de sedimentos em suspensão

F = fração do ano em que se tem a presença de cunha salina

g = aceleração da gravidade

W = velocidade de queda dos sedimentos

Φ = intensidade de escoamento

Ψ = intensidade de transporte

ρ = massa específica do fluido

N_{SPT} = índice de resistência à penetração do solo

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 | OBJETIVOS | 16 |
| 1.1.1 | Objetivo Geral..... | 16 |
| 1.1.2 | Objetivos Específicos | 16 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 18 |
| 2.1 | OBRAS PORTUÁRIAS..... | 18 |
| 2.2 | SEDIMENTOLOGIA..... | 20 |
| 2.2.1 | Movimento dos Sedimentos Marítimos | 20 |
| 2.2.2 | Movimento dos Sedimentos Fluviais..... | 20 |
| 2.2.3 | Controle | 21 |
| 2.2.4 | Manutenção por Dragagem | 22 |
| 2.3 | PROJETO DE ALARGAMENTO DA VIA E DA NOVA BACIA DE EVOLUÇÃO DO PORTO DE ITAJAÍ | 24 |
| 2.4 | MODELAGEM MATEMÁTICA PARA TRANSPORTE DE SEDIMENTOS .. | 25 |
| 2.4.1 | Modelo Pioneiro | 26 |
| 2.4.2 | Modelo Clássico | 27 |
| 2.4.2.1 | Fórmulas de Einstein (1942; 1950)..... | 28 |
| 2.4.2.2 | Fórmula de van Rijn (1984)..... | 29 |
| 2.4.3 | Modelo INPH | 30 |
| 3 | METODOLOGIA..... | 32 |
| 3.1 | ÁREA DE ESTUDO | 32 |
| 3.2 | CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO..... | 33 |
| 3.2.1 | Fatores Geomorfológicos e Geológicos | 33 |
| 3.2.2 | Fatores Climáticos | 35 |
| 3.3 | ENSAIOS | 38 |
| 3.3.1 | Caracterização do Sedimento | 38 |

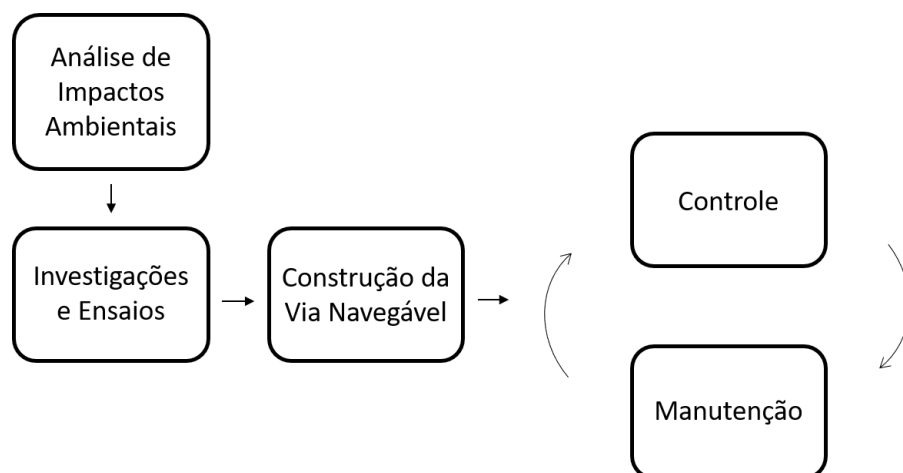
| | | |
|--------------|---|-----------|
| 3.3.2 | Caracterização do Perfil Estratigráfico..... | 41 |
| 3.4 | DEFINIÇÃO DO PERFIL DE ANÁLISE | 42 |
| 4 | ANÁLISE DE RESULTADOS..... | 45 |
| 4.1 | CARACTERIZAÇÃO DO SEDIMENTO | 45 |
| 4.2 | SONDAGENS E DESCRIÇÃO DO PERFIL GEOTÉCNICO DA REGIÃO | 51 |
| 4.3 | EVOLUÇÃO DA DEPOSIÇÃO DOS SEDIMENTOS..... | 52 |
| 4.4 | COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE PREVISÃO DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS..... | 56 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 58 |
| | REFERÊNCIAS..... | 60 |
| | ANEXO A – Histórico de dragagens do Porto de Itajaí (1958-1996)..... | 62 |
| | ANEXO B – Histórico de dragagens do Porto de Itajaí (1997-2017)..... | 63 |

1 INTRODUÇÃO

Um dos modais de transporte mais importantes do mundo, que têm aproximado civilizações desde os primórdios, é o modal aquaviário (ROCHA, 2015). Segundo Alfredini e Arasaki (2014), este modal possui elevado potencial econômico, mas ainda é pouco explorado no país. O Brasil tem cerca de 8500 quilômetros de linha costeira orientada sentido Oceano Atlântico, um espaço considerável para exploração do transporte aquaviário e implantação de infraestruturas para tal modal. Porém, ainda segundo Alfredini e Arasaki (2009), o problema não está na implantação de novas infraestruturas portuárias. Na verdade, o Brasil apresenta quantidade suficiente de portos, a grande questão é que estes portos são pouco aproveitados. Falta liberdade para as organizações portuárias apresentarem um planejamento econômico eficiente e ainda investimentos para que os portos existentes possam abranger uma gama maior de cargas e passageiros em geral.

Observando-se os portos já construídos no país e organizando de forma genérica a implantação dos canais de acesso dos mesmos, pôde-se elaborar a Figura 1. Esta figura apresenta a importância dos elementos de controle e manutenção do calado de uma via navegável, sendo que tais elementos necessitarão ocorrer de forma cíclica durante toda a vida da construção.

Figura 1 – Fluxograma básico de implantação inicial de uma via navegável



Fonte: Autora (2022).

Por ter forte impacto na economia nacional, a manutenção e, quando possível, o melhoramento das vias navegáveis, são de grande importância. Em 2019, um dos principais portos do Brasil estava passando por uma ampliação da capacidade de suporte de embarcações. Em 2010, o calado máximo do porto de Itajaí era 11 metros e, com o novo projeto, que amplia a seção do canal do porto, passou para 14 metros de profundidade, tornando capaz de receber embarcações maiores (PORTO DE ITAJAÍ, 2019).

Essa ampliação demanda manutenção do calado para que o canal não retorne a sua forma natural, neste caso dragando o material. Para manter a eficiência no serviço de dragagem, se faz necessário programar a ocorrência desta manutenção. Portanto, é fundamental estudar o movimento dos sedimentos e analisar os fatores que influenciam o transporte e deposição dos mesmos – além de ser necessária a avaliação das marés e ventos, e principalmente as características locais do solo. Tais análises permitem uma avaliação do tempo de recorrência para passagem das dragas, com objetivo de manter o pleno funcionamento do porto.

Este trabalho apresenta a análise dos fatores relacionados ao estudo da sedimentação no canal do Porto Itajaí, que influenciam diretamente na modificação da geometria do canal estudado.

1.1 OBJETIVOS

Para se avaliar a aplicação de metodologias empíricas aplicadas à sedimentologia no canal hidroviário do Porto de Itajaí, propõe-se os seguintes objetivos.

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar aspectos relacionados à deposição e transporte de sedimentos junto ao canal de acesso do Porto de Itajaí, comparando o volume de sedimentação obtido por métodos empíricos com os valores utilizados no projeto do Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH).

1.1.2 Objetivos Específicos

- a. Coletar amostra de solo do canal e realizar ensaios de caracterização;
- b. Interpretar os ensaios geotécnicos já realizados no local;

- c. Visitar as instalações do Porto de Itajaí, para verificar o processo de ampliação do canal e acompanhar uma dragagem de ampliação;
- d. Avaliar a influência das condições climáticas na sedimentologia da região;
- e. Verificar a interferência do transporte de sedimentos fluvial e marítimo;
- f. Utilizar equações empíricas para estimar o volume de sedimentos a ser dragado;
- g. Comparar os resultados obtidos pelos equacionamentos com os resultados considerados no projeto do Porto;
- h. Discutir a assertividade dos valores obtidos por cada método, avaliando a necessidade de se utilizar métodos mais robustos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os tópicos a seguir, abordarão conceitos importantes para o entendimento deste trabalho.

2.1 OBRAS PORTUÁRIAS

Inicialmente, se faz necessário compreender o significado dos portos, definindo-se algumas características:

Um porto necessita de proteção contra ondas e correntes, visto que possui uma área de acostagem e manobra de embarcações. Estas manobras demandam uma área controlada para segurança da infraestrutura portuária e da embarcação, além de possíveis cargas e passageiros, de forma que a acostagem possua solicitações controladas nas amarrações da embarcação (ALFREDINI; ARASAKI, 2014). Conforme salienta Stevenson (1874), esta proteção é denominada abrigo, e é fator primordial na estrutura de qualquer porto. Alguns exemplos de abrigo são o próprio canal fluvial, que desemboca no mar, ou até mesmo a utilização de molhes.

Já na questão geométrica da via, Alfredini e Arasaki (2014), afirmam que é necessário o cálculo do projeto da embarcação-tipo, para que os fatores de calado, boca e comprimento da embarcação sejam satisfeitos pelo canal de acesso.

As embarcações que frequentam os portos, em sua maioria, apresentam cargas ou passageiros, demandando uma área para armazenamento ou simplesmente movimentação de viajantes. Sendo esta área caracterizada como retroporto, que, além das áreas mencionadas, abrange também a administração portuária (ALFREDINI; ARASAKI, 2014).

Além das áreas terrestres, destinadas a armazenamento de cargas e passageiros, são necessárias áreas de acesso ao porto em questão (STEVENSON, 1874), sendo estes acessos realizados por diferentes modais de transporte, como por exemplo, ferroviário e aéreo. É possível afirmar que o porto atua como amparo de embarcações com a finalidade de promover o acesso, de cargas e passageiros, à costa, de forma segura.

É importante salientar que a implantação de um porto apresenta impactos grandiosos na região. Alfredini e Arasaki (2014), expõem a importância do estudo destes impactos, sejam eles, ambientais ou socioeconômicos.

Além destes conceitos, pode-se caracterizar o arranjo portuário de acordo com a natureza, localização e utilização.

A natureza dos portos aborda a questão de acessibilidade dos mesmos, podendo ser natural ou artificial – portos de característica natural não apresentam obras de melhoramento pois as condições originais do local apresentam capacidade de suporte das embarcações-tipo de interesse (ALFREDINI; ARASAKI, 2014). Ainda conforme Alfredini e Arasaki (2014), os portos artificiais, sendo a maioria dos portos existentes, apresentam obras de melhoramento que adequam a região de uso para determinadas embarcações e ainda mantém a infraestrutura local para que não se prejudique as condições existentes.

Conforme apresenta o Ministério da Infraestrutura (2020), se tratando da utilização da infraestrutura portuária pode-se classificar a mesma como de carga geral ou especializada, sendo ainda subdividida em rotas marítimas (longo curso e cabotagem) ou fluvial.

Os portos podem estar localizados de form externa, interna ou ao largo. Portos de estrutura externa encontram-se diretamente na costa, sem abrigo de rios ou deltas, necessitam de maiores condições artificiais, com obras de proteção, para manter sua produtividade. Já os que estão localizados no interior apresentam condições naturais mais favoráveis de uso, sendo que as estruturas se encontram protegidas por condições naturais do local, como em rios. Os portos ao largo, por sua vez, se encontram distantes da costa e podem ser desprovidos de abrigos artificias (STEVENSON, 1874).

Ainda se tratando da localização da estrutura portuária, é importante salientar as estruturas artificiais voltadas ao apoio das embarcações de rota marítima, sendo as principais estruturas de proteção de maré: molhes e quebra-mares (ALFREDINI; ARASAKI, 2014). Pode-se fazer a distinção das estruturas quanto a sua localização: molhes estão conectados ao continente, já quebra-mares, não. Estas estruturas possuem finalidade básica de proteger a movimentação das embarcações das ondas do mar.

Além das características apresentadas, é necessário realizar o aprofundamento quanto à estrutura responsável por abrigar as embarcações-tipo, sendo a própria infraestrutura marítima, com o acesso, as áreas de manobra e a acostagem das embarcações.

Após estudar as características e efetivar as obras de um porto, se espera que o mesmo possua pelo menos uma continuidade no seu projeto de acordo com as embarcações selecionadas, para manter a produtividade. Tornando importante a avaliação de um dos fatores que interferem neste processo: o assoreamento da região, que modifica a geometria do canal de acesso ou da via navegável.

2.2 SEDIMENTOLOGIA

Para se compreender os efeitos da sedimentologia na estrutura portuária é necessário abordar a sua origem, podendo ser devido às ações no leito fluvial ou marítimo. A grande maioria dos portos possui modificações na geometria do seu canal, porém para se ter um controle dos efeitos destas modificações é preciso analisar os fatores que contribuem com o movimento dos sedimentos. Sendo eles: efeitos de vento, onda, movimento de embarcação e corrente. Além dos fatores de proteção da embarcação, como os molhes, que aceleram o processo (DIEHL et al., 2017).

Os tópicos a seguir distinguem o movimento dos sedimentos quanto a sua natureza de origem, detalhando as suas diferenças.

2.2.1 Movimento dos Sedimentos Marítimos

Alfredini e Arasaki (2014) apresentam que, os processos litorâneos ocorrem devido a algumas intervenções naturais como ventos, ondas, correntes, e algumas intervenções antrópicas. É importante ressaltar que solos arenosos são comuns nas regiões litorâneas e estes respondem de maneira ágil às ações mencionadas. Por este motivo pode-se se dizer que o equilíbrio das regiões praianas é dinâmico, sendo que a média de sedimentos que entram na costa é semelhante à média de sedimentos que deixam.

2.2.2 Movimento dos Sedimentos Fluviais

O movimento de sedimentos fluviais apresenta uma abordagem distinta do marítimo, Alfredini e Arasaki (2014), mencionam que os sedimentos são tratados como materiais sólidos transportados devido a ações ativas hidráulicas, hidrometeorológicas e influência antrópica, enquanto outros agentes são considerados passivos. Ainda segundo os autores, os efeitos hidráulicos, como a água da chuva, podem variar de acordo com seu volume, intensidade, duração e frequência.

A forma do sedimento pode ser analisada em sua estrutura e textura. Tratando-se de areias, quanto mais uniforme a curva granulométrica e forma arredondada mais sujeito à erosão. Os sedimentos encontrados em canais fluviais, na parte senil, ou seja, na parte plana, onde se encontram muitos portos, são geralmente mais finos. As argilas são mais coesivas e dificultam

o processo erosivo. Porém alguns fatores acarretam no transporte deste material, que pode ser representado pelo volume de sedimentos que escoam em um determinado tempo, correspondendo à vazão sólida, que será maior conforme o aumento na velocidade do escoamento (ALFREDINI; ARASAKI, 2014).

Esse transporte de sedimentos precisa ser controlado em obras portuárias, de forma que torne possível a manutenção, para manter a constância na geometria do canal.

2.2.3 Controle

O controle de sedimentos em uma região aquática, ou seja, a quantificação das alterações de profundidade de um canal, pode ser realizado por batimetria.

Segundo Carazzai (2015), a batimetria pode ser descrita como uma fonte de ondas sonoras aplicadas no leito de estudo que reflete o contato com corpos sólidos, tais informações são processadas por *softwares* específicos que apresentam o perfil das profundidades de análise. Estas ondas podem ser multifeixe ou monofeixe. Sendo que as do tipo monofeixe apresentam uma superfície de resultado, e a monofeixe apresenta pontos específicos de profundidade.

Sinais elétricos são emitidos pelo transmissor e recebidos pelo projetor, que transformam o mesmo em um sinal acústico, proveniente de uma perturbação mecânica nas pastilhas piezoelétricas ou por magnetostrição, que quando interagem com um obstáculo emitem uma impedância acústica distinta, refletindo novamente ao sonar. Os dados podem ser visualizados e armazenados por meio da transformação desta energia acústica em elétrica, por meio de hidrofones (CARAZZAI, 2015, p. 23).

Já o controle da velocidade das partículas suspensas e conseqüentemente da corrente d'água pode ser realizado pelo ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*), conhecido também como Correntômetro Acústico de Efeito Doppler (GRISON, 2008).

Segundo Grison (2008 apud FILHO, 1999, p. 05) o efeito *Doppler* no ADCP é “a mudança na frequência de uma onda sonora causada por um movimento relativo entre o aparelho transmissor do som (chamado de transdutor) e o material em suspensão na água.”.

Este efeito, amplamente conhecido, é proporcional à velocidade da corrente marítima, proporcionando a alteração da frequência dos feixes de ondas quando colidido a um material diferente da água. O ADCP também permite a avaliação da distribuição dos sedimentos em suspensão nas áreas de análise, por conseguir distinguir o material sólido da água (GRISON, 2008 apud FILHO, 1999, p. 05). Esta análise é importante na avaliação da sedimentação em

canais aquaviários, que dependem da quantidade de material em suspensão para análise de sedimentação, conforme será apresentado adiante.

2.2.4 Manutenção por Dragagem

Após a apresentação da medição da geometria da hidrovia, se faz necessário caracterizar as formas de manutenção de uma via navegável, neste caso, destacando-se a dragagem.

Conforme apresenta Menegazzo (2016 apud BRASIL, 2013) a Nova Lei dos Portos, Lei 12.815 de 2013, caracteriza a dragagem como obra ou serviço realizado com o objetivo de desobstruir, remover, derrocar ou escavar sedimentos em lagos, mares, baías e canais.

Dragagens são realizadas por meios de dragas, que possuem diferentes tipos e objetivos. É importante salientar que dragagens não são realizadas apenas para manutenção e aprofundamento de rios e vias navegáveis, elas também são utilizadas para recuperações ambientais, como alargamentos de costa, mineração, aterros ou usos especiais, como remoção de escombros, entre outros (OLIVEIRA, 2010).

Portanto, da mesma forma que existem diferentes objetivos na dragagem, também existem diferentes modelos de dragas. Se tratando de manutenção, é possível verificar dois tipos de dragas já utilizadas na região: o tipo *Backhoe* e o *Traling Suction Hopper Dredge* (TSHD).

Durante a obra de dragagem no Porto de Itajaí, estes dois modelos foram utilizados. No projeto em questão, realizado pela empresa Holandesa *Van Oord*, o aprofundamento do canal era realizado pela draga *Backhoe Simson*, para movimentação de massas maiores de solo no canal, conforme Imagem 1.

Imagem 1 – Draga *Backhoe Simson*



Fonte: Autora (2019).

Juntamente com a draga *Geopotes XV* (Imagem 2), do tipo TSHD, para coleta e transporte e descarga de solo com destino aos fundeios pré-estabelecidos em projeto.

Imagem 2 – Draga *Geopotes XV* (vista noturna)



Fonte: Autora (2019).

A Imagem 3 apresenta ainda a Draga Geopotes XV em visualização diurna para melhor compreensão de sua estrutura.

Imagem 3 – Draga Geopotes XV (vista diurna)



Fonte: Navios de Santos (2021).

2.3 PROJETO DE ALARGAMENTO DA VIA E DA NOVA BACIA DE EVOLUÇÃO DO PORTO DE ITAJAÍ

Conforme apresentado anteriormente, o Porto de Itajaí iniciou em 2016 o projeto de aprofundamento do canal e instalação da nova bacia de evolução na região (Figura 2). No ano de 2018 foi finalizado o projeto básico de dragagem e manutenção do canal para a abertura via processo de licitação e início das obras na região.

Figura 2 – Projeto da nova bacia de evolução



Fonte: Porto de Itajaí (2016).

A construção foi embasada pelo projeto básico apresentado pela Hidrotopo, com o objetivo de garantir o pleno funcionamento do canal navegável e ampliação do mesmo. O projeto contemplou um período de serviço de sessenta meses, considerando a embarcação tipo de: 366 metros de comprimento e 52 metros de boca (HIDROTOPO, 2018).

Para execução do empreendimento são necessárias algumas etapas: levantamentos hidrográficos, análise e quantificação dos volumes assoreados, avaliação das cotas atuais e históricas, e definição de tempo para mobilização dos equipamentos.

2.4 MODELAGEM MATEMÁTICA PARA TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

A evolução do ser humano na utilização de recursos hídricos voltados às necessidades básicas e comerciais, iniciadas em tempos remotos e de tecnologias mais primitivas, proporcionaram uma evolução na construção e manutenção de vias navegáveis e, por consequência, nas formas de prever as atividades naturais destes fenômenos hídricos. Esta evolução proporcionou a fundamentação de três modelos de previsão de transporte de sedimentos: o modelo pioneiro, o clássico e o diferencial (POLETO, 2008). Este trabalho

apresenta a análise de quatro modelos de previsão de sedimentação, sendo eles: Lei de Stokes (Pioneiro, 1851), Einstein (Clássico, 1942-1950), Van Rijn (Clássico, 1984) e o modelo utilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH).

2.4.1 Modelo Pioneiro

O primeiro modelo matemático coerente e cientificamente comprovado foi através da Lei de Stokes (Equação 1), em 1851, que estima a velocidade terminal de deposição de uma partícula em meio fluido.

$$\omega_0 = \frac{(\rho_s - \rho) * g * d^2}{18 * \mu} \quad (1)$$

Onde,

ω_0 é a velocidade de sedimentação em m/s;

ρ_s é a massa específica do sedimento em kg/m³;

ρ é a massa específica do fluido em kg/m³;

g é a aceleração da gravidade em m/s²

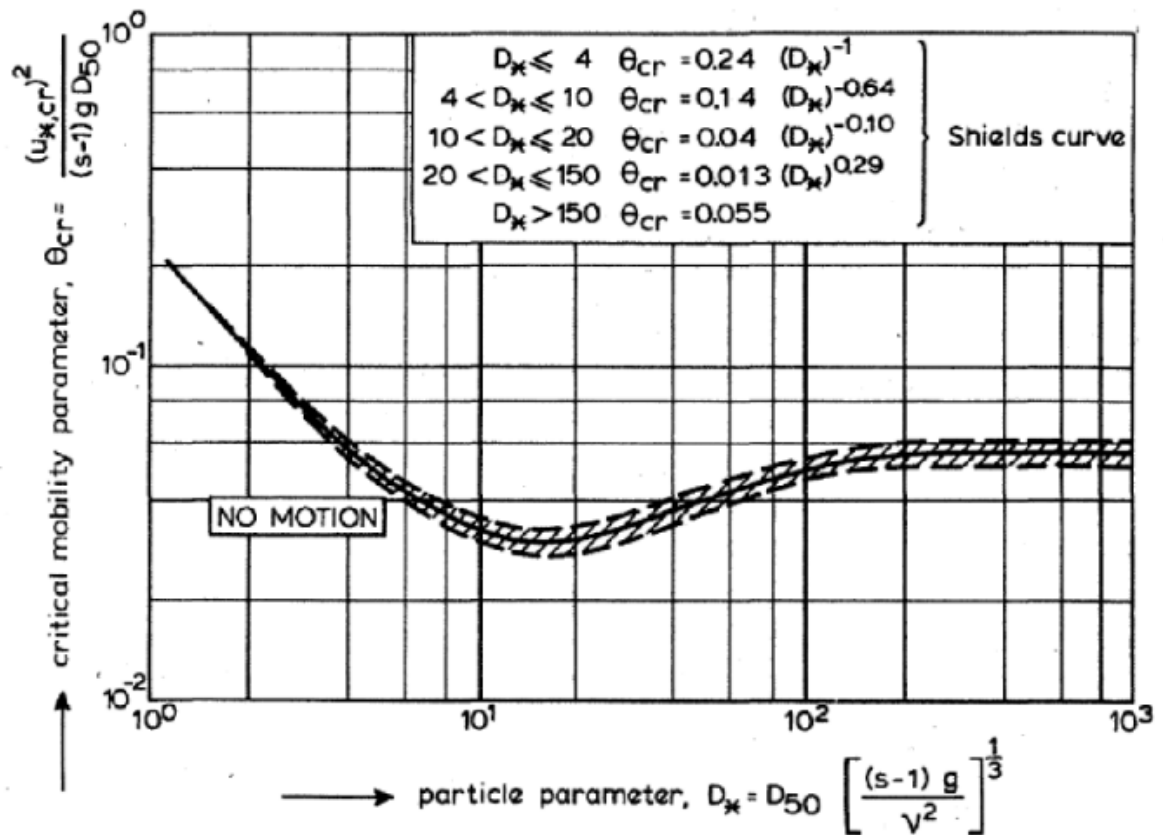
d é o diâmetro da partícula em m;

μ é a viscosidade dinâmica do fluido em kg/ms.

Esta formulação apresenta uma estimativa mais assertiva em partículas isoladas ou em baixas concentrações de sedimentos (POLETO, 2008). Mas a evolução na análise de deposição de sedimentos apresentou algumas considerações relevantes que limitam o modelo em questão. Quando as concentrações analisadas apresentam alto nível de sedimentos, a velocidade da sedimentação reduz, diminuindo a necessidade de correção da lei apresentada.

Este limitante reduz a eficácia do modelo em determinar o comportamento dos sedimentos em meio natural, visto que não fornece análises à erosão e ao detalhamento deste fenômeno (POLETO, 2008). Para corrigir tal imprecisão, se utiliza o Diagrama de Shields (Figura 3), que avalia as características físicas do sedimento, em erosão incipiente do leito, aplicado ao segundo método utilizado neste trabalho (método de Van Rijn, 1984).

Figura 3 – Diagrama de Shields



Fonte: Poletto (2008).

2.4.2 Modelo Clássico

Desenvolvidos para incrementar as análises do modelo pioneiro, o modelo clássico estima a quantidade de sedimento retirada do leito, determinando o processo erosivo (POLETO, 2008). Este método divide o leito em duas áreas: a de transporte de fundo e a de suspensão.

A modalidade de transporte de fundo pode ser determinada por diversas formulações empíricas, no caso em questão, foram utilizadas as fórmulas de Einstein (1942; 1950) e Van Rijn (1984).

2.4.2.1 Fórmulas de Einstein (1942; 1950)

A fórmula de Einstein é calculada por meio de dois parâmetros adimensionais experimentais: intensidade de escoamento (ψ) e de intensidade de transporte (ϕ), respectivamente, conforme Equações 2 e 3.

$$\psi = \frac{(\rho_s - \rho) * g * d_{50}}{\tau_0} \quad (2)$$

$$\phi = \frac{g_s *}{\tau_0} \sqrt{\left(\frac{\rho}{\rho_s - \rho}\right) * \left(\frac{1}{g * d_{50}^3}\right)} \quad (3)$$

Onde,

$\tau_0 = \rho * g * Rh * Sf$ = é a tensão cisalhante no fundo do canal em N/m²;

ρ_s é a massa específica do sedimento em kg/m³;

ρ é a massa específica do fluido em kg/m³;

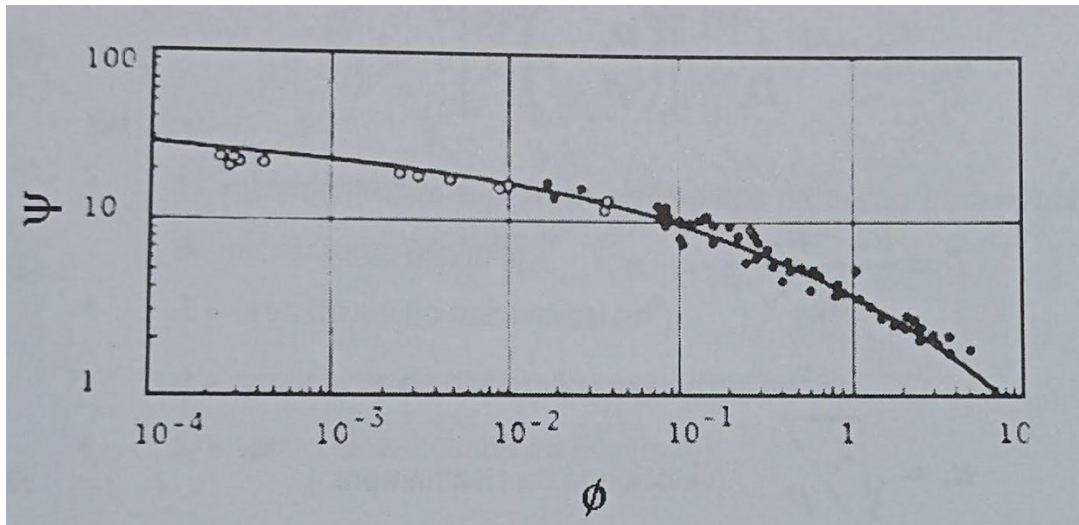
g é a aceleração da gravidade em m/s²

d_{50} é o diâmetro médio dos depósitos de fundo em m;

g_s é a descarga de sedimentos de fundo, por metro de largura do canal (descarga unitária em massa de sedimentos) em kg/(ms).

Esta formulação estima a descarga de fundo (g_s) com base em dados estatísticos experimentais que resultam nos parâmetros adimensionais de intensidade de escoamento e intensidade de transporte, apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Relação entre parâmetros intensidade de escoamento e intensidade de transporte.



Fonte: Poletto (2008).

Os valores obtidos da descarga unitária em massa (g_s) podem ser transformados em descarga unitária em volume (q_s), conforme Equação 4.

$$q_s = \frac{g_s}{\rho_s} \quad (4)$$

Onde,

g_s é a descarga de sedimentos de fundo, por metro de largura do canal (descarga unitária em massa de sedimentos) em kg/(ms).

ρ_s é a massa específica do sedimento em kg/m³;

q_s é a descarga unitária em volume m³/s.

Este valor, por fim, pode ser multiplicado pela área do canal, apresentando a estimativa de descarga da sedimentação.

2.4.2.2 Fórmula de van Rijn (1984)

A fórmula de van Rijn, é uma das formulações mais utilizadas na metodologia de análise para a estimativa do transporte de sedimentos de fundo (POLETO, 2008). Sendo representadas pelas Equações 5, 6 e 7 respectivamente.

$$q_s = 0,053 * \frac{T^{2,1}}{D_*^{0,3}} \left[\sqrt{\left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1\right) * g} \right] d_{50}^{1,5} \quad (5)$$

$$T = \frac{u_*^2 - u_{*cr}^2}{u_{*cr}^2} \quad (6)$$

$$u_* = \sqrt{\tau_0 / \rho} \quad (7)$$

Onde,

q_s é a descarga unitária em volume m^3/s ;

D_* é o parâmetro adimensional da partícula;

u_* velocidade de cisalhamento m/s ;

u_{*cr} velocidade de cisalhamento crítica (m/s).

Os valores de velocidade de cisalhamento crítica são obtidos pelo Diagrama de Shields (Figura 3), utilizando os parâmetros:

$$D_* = d * \left[\left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right) \frac{g}{\mu^2} \rho^2 \right]^{1/3} \quad (8)$$

$$u_{*cr} = \sqrt{\theta_{cr} * \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right) * g * d} \quad (9)$$

Onde,

θ_{cr} é parâmetro adimensional de mobilidade crítica.

2.4.3 Modelo INPH

Ainda utilizando modelos de transporte de fundo, o projeto do Porto apresenta o modelo definido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias, conforme apresentado na Equação 10:

$$Q_{ann} = \frac{1}{\gamma_s} \bar{C} w f h_v \quad (10)$$

Onde,

\bar{C} é a concentração média de sedimentos em suspensão;

W é a velocidade de queda dos sedimentos;

f é a fração do ano em que se tem a presença de cunha salina;

h_v é o número de segundos em um ano;

γ_s é o peso específico do sedimento submerso.

Este modelo calcula a taxa de deposição de sedimentos por meio da velocidade de queda típica do sedimento coesivo, em momentos de presença de cunha salina, desconsiderando-se a erosão do mesmo (INPH, 2012).

3 METODOLOGIA

Para obtenção das influências no movimento de sedimentos do canal de acesso ao Porto de Itajaí, explorou-se a localização do ponto estudado, e em seguida foi caracterizada a região, além de se ter analisado os ensaios disponíveis de solos e perfil estratigráfico do local.

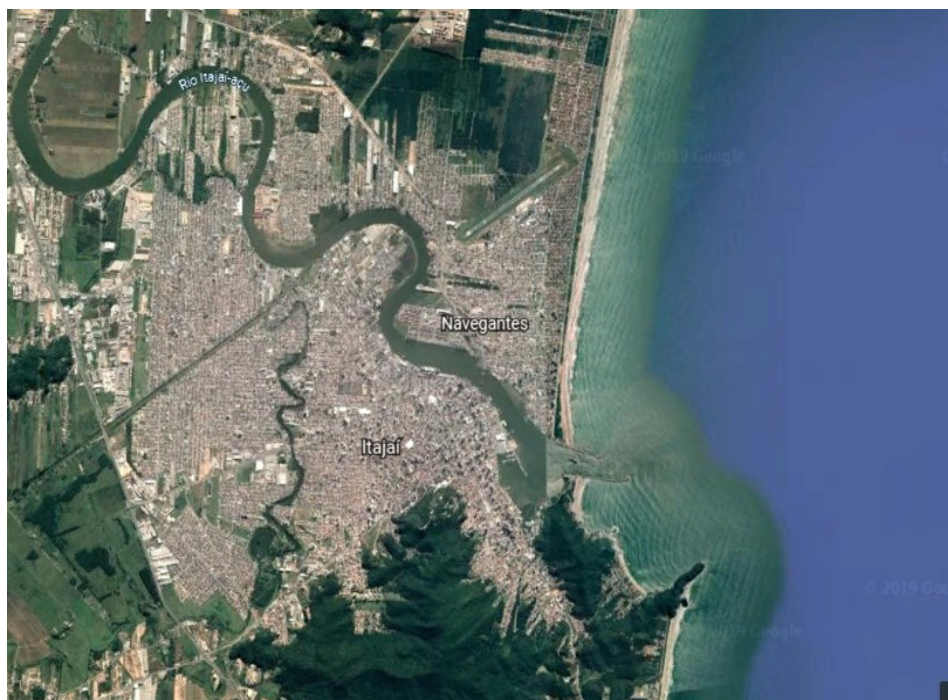
3.1 ÁREA DE ESTUDO

Dentre os canais com sistemas portuários encontrados no Brasil, optou-se por avaliar a sedimentologia do canal do Rio Itajaí-Açu, que tem passado por investimento de ampliação na região do Porto de Itajaí, além de modificações na sua bacia de evolução. O canal se encontra na região dos portos de Itajaí e Navegantes, e conta com 5 portos instalados em sua extensão.

Os dados levantados foram obtidos pelo Porto de Itajaí, que possui responsabilidade pelas obras anteriormente mencionadas.

O Porto de Itajaí encontra-se no litoral centro-norte do estado de Santa Catarina, no município de Itajaí em divisa com o município de Navegantes (Imagem 4).

Imagem 4 – Localização do Porto de Itajaí.



Fonte: Google Earth (2019).

No ano de 1966, de acordo com o Porto de Itajaí (2019), houve a classificação de porto organizado pelo decreto 58.780/66, porém a organização passou por momentos de crise, com a queda do seu principal material de exportação, a madeira, e conseguinte com a extinção da Petrobrás. Para resolver esta situação houve a municipalização da gestão administrativa, que resultou na delegação de responsabilidade da gestão portuária ao município por 25 anos.

A partir daí o município assumiu a gestão do porto e, de acordo com a legislação em vigência, foi promovido o arrendamento do Terminal de Contêineres (Tecon) a empresa de propósito específico Terminal de Contêineres do Vale do Itajaí (Teconvi), hoje APM Terminals Itajaí. Isso possibilitou que o porto recebesse investimentos em equipamentos e modernização (PORTO DE ITAJAÍ, 2019, p.01).

As principais mercadorias documentadas nos últimos anos, segundo o Porto de Itajaí (2019, p. 01), foram: “madeira e derivados; frangos congelados (maior porto exportador do Brasil); cerâmicos; papel kraft; máquinas e acessórios; tabacos; veículos, têxteis; açúcar e carne congelada.” Ainda destacando a movimentação de contêineres, que classificou o Complexo Portuário de Itajaí na segunda posição do ranking nacional, em 2018, atrás apenas do Porto de Santos (PORTO DE ITAJAÍ, 2019, p. 01).

3.2 CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO

Os elementos geomorfológicos, geológicos e climáticos influenciam na ocorrência do movimento de sedimentos do canal de acesso ao Porto de Itajaí, portanto, se fez necessário caracterizar estes tópicos de acordo com as particularidades da região. Os itens seguintes abordarão estes fatores.

3.2.1 Fatores Geomorfológicos e Geológicos

A região do canal de acesso ao Porto de Itajaí apresenta estruturas geológicas inter-relacionadas, sendo elas, planície costeira e plataforma continental. A planície costeira consiste na massa de terra acima do nível do mar, onde estão localizados os municípios de Itajaí e Navegantes. Já a plataforma continental, é a massa de terra abaixo do nível do mar (DIEHL et al., 2017).

Na transição destes ambientes encontram-se regiões praianas. Segundo Diehl et al. (2017, p. 43) estão regiões são “formadas com a contribuição dos sedimentos (areias e lamas)

disponibilizados na zona litorânea pelo rio Itajaí-Açu, que corta toda a superfície da planície costeira.”. Diehl *et al.* (2017, p. 43) diz ainda que “a linha de costa da região prolonga-se no sentido NE-SW, em uma extensão de aproximadamente 19km, sendo totalmente interrompida por 400m na foz do rio.”. Na Imagem 5, estas regiões podem ser observadas.

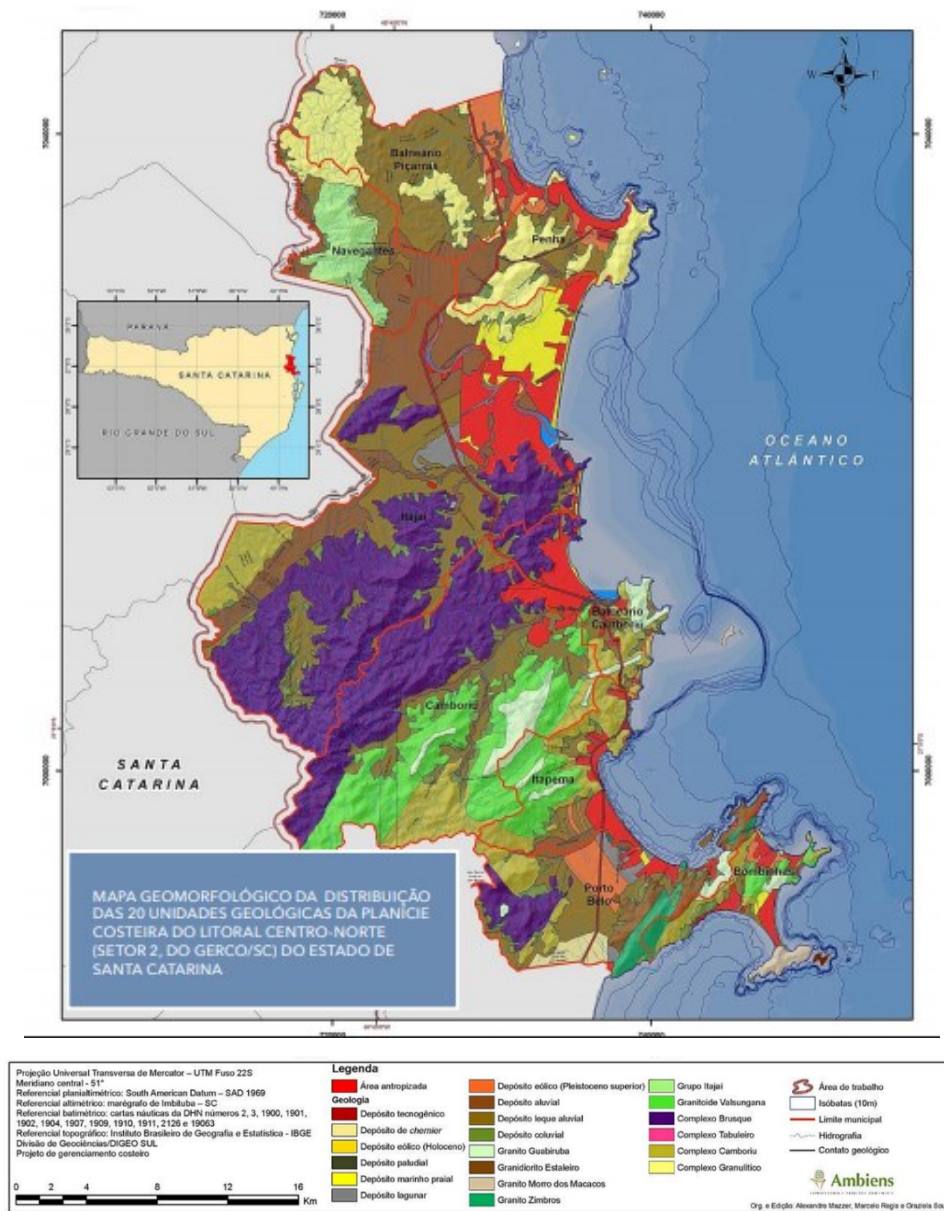
Imagem 5 – Localização das Principais Praias da Região.



Fonte: Diehl *et al.* (2017, p. 44).

A região costeira do litoral centro-norte catarinense apresenta 20 unidades geológicas reconhecidas. A Figura 5 apresenta o mapa geomorfológico destas unidades. Conforme apresenta Diehl *et al.* (2017 apud FILHO, 2010, p. 43) “10 unidades litoestratigráficas do embasamento rochoso e 10 unidades geológicas representando as fácies dos depósitos sedimentares dos sistemas continental, transicional e antropogênico.”.

Figura 5 – Mapa geomorfológico da região costeira centro-norte catarinense



Fonte: Diehl *et al.* (2017, p. 47).

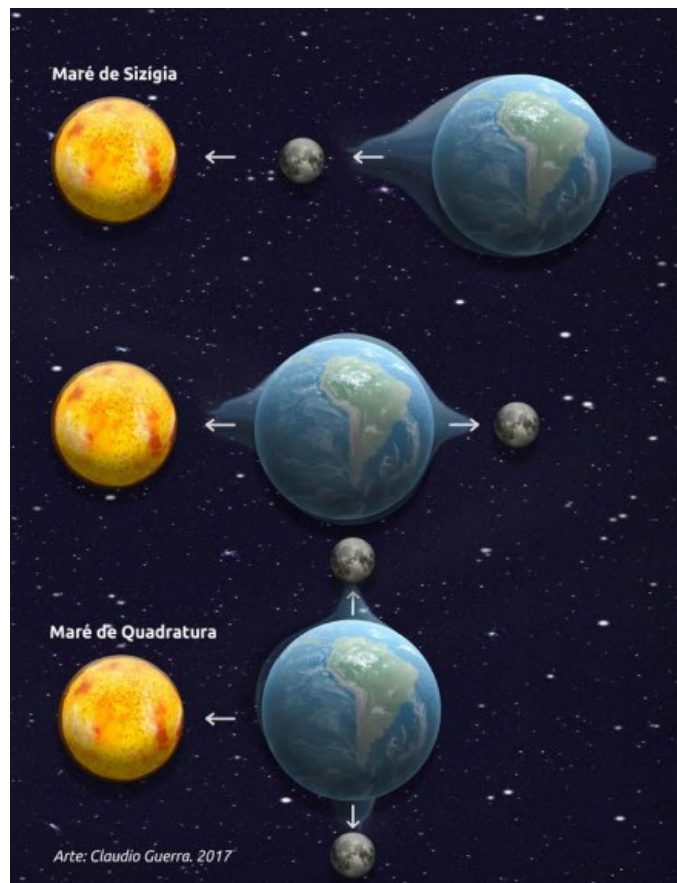
Além da influência destes fatores é importante ressaltar a contribuição das condições climáticas.

3.2.2 Fatores Climáticos

Segundo Diehl *et al.* (2017, p. 59), os principais fatores climáticos que influenciam a movimentação de sedimentos são, os ventos, as chuvas e as marés. As marés podem ser distintas pelos fenômenos de maré astronômica e maré meteorológica.

A maré astronômica é a elevação ou descensão da maré em relação a uma referência fixa, causada pela atração do Sol e da Lua, simultâneas. Como a Terra se encontra mais próxima da Lua, sendo esta última, que emprega maior influência no comportamento das marés, maior no alinhamento com a Terra e o Sol (Luas Cheia e Nova), denominada Sizígia. E menor nos quartos crescentes e minguantes, denominada quadratura (DIEHL et al. 2017, p. 59). A Figura 6 apresenta de forma esquemática as ações das marés Sizígia e Quadratura.

Figura 6 – Representação da Maré Astronômica.



Fonte: Diehl *et al.* (2017, p. 59).

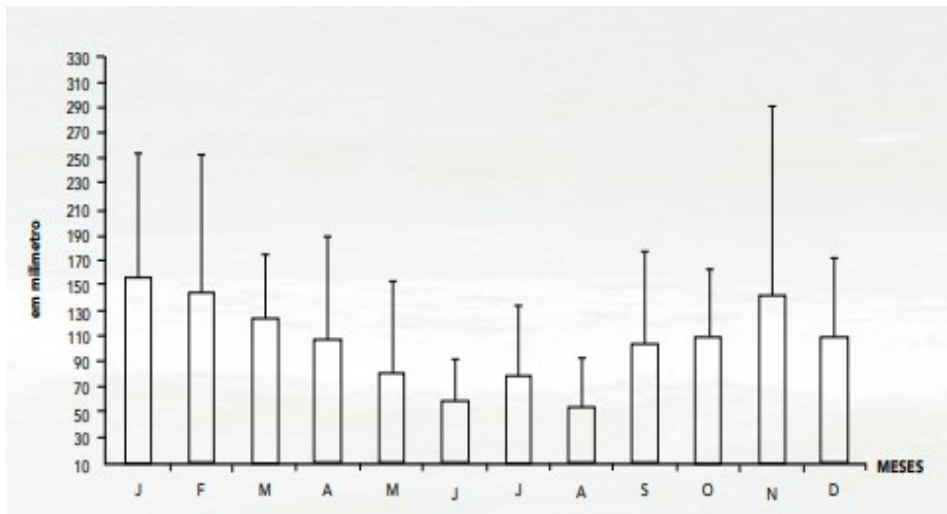
Já a maré meteorológica, é caracterizada pelo avanço do mar em áreas normalmente não alcançadas, o que causa consideráveis danos às propriedades da região e inundações na orla. Conforme apresenta Diehl *et al.* (2017, p. 60) “esta maré pode causar um incremento na maré astronômica de até 1m para a região costeira da foz do rio Itajaí-Açu.”.

Tratando-se da influência das chuvas, pode-se afirmar que:

A precipitação anual média entre os anos de 1987 e 2010 foi de 1.759mm (média histórica – estação meteorológica UNIVALI). Já quando considerado o período apenas de 1999 a 2010, a precipitação anual média foi de 1.261mm. Entre os anos de 1999 e 2007, choveu pouco na região da foz do rio Itajaí–Açu, quando foram registrados índices de precipitação menores que a média histórica (1.759 mm/ano - normal climatológica – 1987/2010) (DIEHL *et al.*, 2017, p. 72).

A Figura 7 apresenta a precipitação mensal média no município de Itajaí.

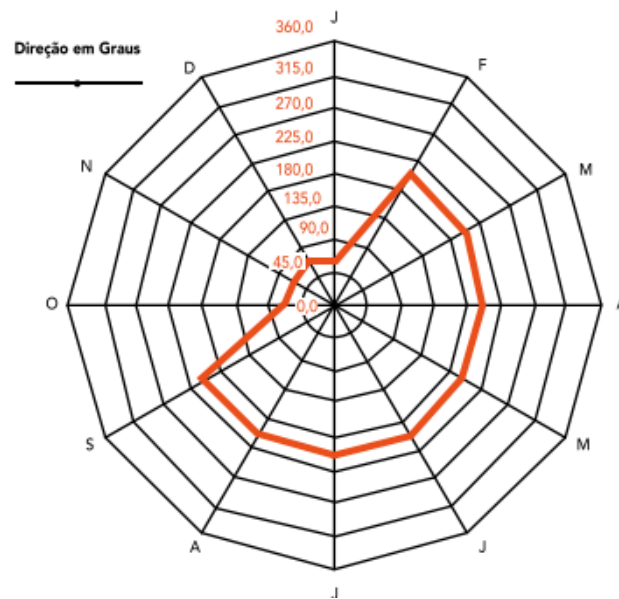
Figura 7 – Média da precipitação mensal do município de Itajaí.



Fonte: Diehl *et al.* (2017, p. 72).

Por fim, analisando os efeitos do vento na região, pode se obter a média da velocidade, sendo esta de 4,3km/h, ainda é possível afirmar que as maiores velocidades ocorrem no período do mês de dezembro. A Figura 8 apresenta a direção média dos ventos na região da foz do Rio Itajaí-Açu.

Figura 8 – Direção Média dos Ventos na Foz do Rio Itajaí-Açu.



Fonte: Diehl *et al.* (2017, p. 75).

Finalizadas as observações climáticas, prosseguiu-se para a caracterização do solo por meio de ensaios.

3.3 ENSAIOS

Após analisadas as características regionais precisou-se obter um aprofundamento nas características sedimentológicas. Para tanto, os tópicos a seguir abordam os ensaios de investigação geotécnica.

3.3.1 Caracterização do Sedimento

Para que a análise pudesse ser realizada obteve-se uma amostra do solo durante uma visita à draga da empresa licitada, conforme apresentado na Imagem 6.

Imagem 6 – Coleta de Sedimento durante visita às obras de dragagem.



Fonte: Autora (2019).

A amostra de solo foi encaminhada ao laboratório da universidade, para realização dos ensaios de acordo com a normativa vigente. O solo foi preparado, conforme preconiza a NBR 6457 de 2016, de forma a se obter a amostra com secagem prévia até a umidade higroscópica (Imagem 7).

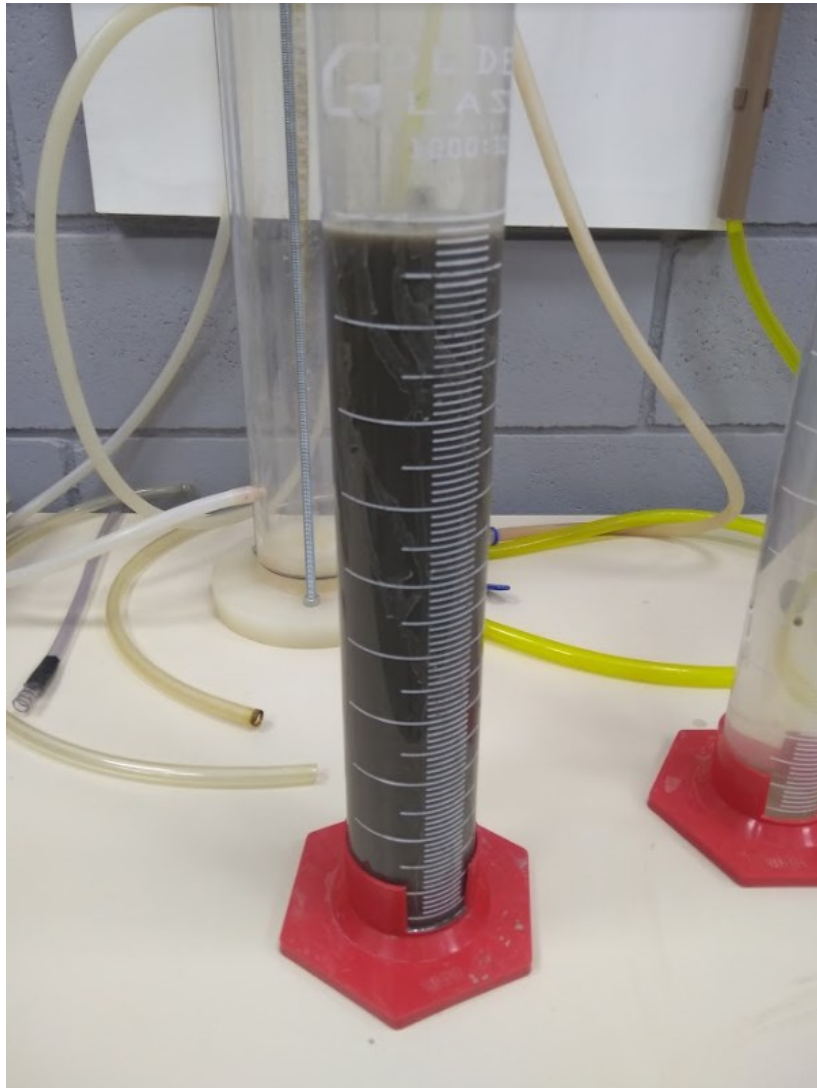
Imagem 7 – Secagem da amostra até umidade higroscópica.



Fonte: Autora (2019).

Em seguida, o material foi homogeneizado para realização do peneiramento. No decorrer do peneiramento anotou-se os dados de retenção de solo para obter a curva granulométrica. O material fino, passante na peneira de 2 mm, foi submetido ao ensaio de sedimentação (Imagem 8), conforme direciona a NBR 7181 de 2018.

Imagem 8 – Ensaio de Sedimentação.



Fonte: Autora (2019).

Já os ensaios de limite de plasticidade e liquidez foram realizados conforme preconiza a NBR 7180 de 2016 e NBR 6459 de 2017, respectivamente.

A determinação da densidade real do solo foi realizada seguindo a normativa do DNER-ME 093/94, p. 01-04, onde 10 g de solo foram utilizados, sendo que inicialmente pesou-se os picnômetros vazios, em seguida com a amostra e, após submeter a amostra preenchida

com água destilada ao calor (Imagem 9), pesou-se novamente o picnômetro e por fim pesou-se o mesmo somente com água destilada. Estes valores possibilitaram o cálculo da densidade real do solo.

Imagem 9 – Ensaio do Picnômetro.



Fonte: Autora (2019).

3.3.2 Caracterização do Perfil Estratigráfico

Neste trabalho, o ensaio utilizado para caracterizar o perfil estratigráfico foi a sondagem SPT (Standard Penetration Test). Schnaid e Odebrecht (2012) caracterizam a sondagem SPT a mais popular no país, por possuir vantagens econômicas e de fácil utilização.

Este ensaio apresenta a medida de resistência dinâmica unida a uma sondagem de fácil reconhecimento (SCHNAID; ODEBRECHT, 2012). O solo é perfurado por meio de tradagem e circulação de água por meio de um trépano de lavagem. Amostras de solo são coletadas a cada metro de perfuração. Schnaid e Odebrecht (2012) informam ainda que o procedimento ocorre pela cravação de um amostrador no fundo da escavação, utilizando-se a queda de 65 kg a uma altura de 75 cm. O valor obtido neste ensaio, N_{SPT} , é o número necessário de golpes para que o amostrador penetre 30 cm de solo após uma cravação preliminar de 15 cm (SCHNAID; ODEBRECHT, 2012).

Quanto mais resistente o solo maior o seu valor de N_{SPT} , portanto é possível se fazer uma estimativa do perfil estratigráfico do local de estudo.

Neste caso obteve-se a sondagem realizada no canal do porto de Itajaí do ano de 2013.

3.4 DEFINIÇÃO DO PERFIL DE ANÁLISE

Durante uma visita ao Porto estudado, foi possível realizar uma coleta de solo durante o processo de dragagem do canal. Na Imagem 10 é possível visualizar uma massa de solo na draga Backhoe, que durante sua operação no carregamento do batelão (*Hopper Barge*), acabava perdendo um pouco de solo que caía no piso da sua própria estrutura.

Imagem 10 – Identificação da amostra de solo na draga Backhoe Simson.



Fonte: Autora (2019).

Esta movimentação permitiu a retirada do solo do ambiente de estudo. Na Imagem 11 é possível avaliar no mapa geográfico a localização aproximada da retirada do solo.

Imagem 11 – Localização da amostra de solo no mapa do Rio Itajaí.



Fonte: Google Maps (2020).

Esta coleta proporcionou ainda a verificação do tipo de solo do canal. Posteriormente se avaliou a geométrica da via navegável por meio de mapas digitais e plantas batimétricas. Selecionando o seguinte perfil para aplicação das metodologias empíricas de previsão de assoreamento.

Imagem 12 – Seção 1 da Via Navegável.



Fonte: Autora (2019).

O perfil foi escolhido devido à modelagem da geometria do canal, trazendo maior certeza nos cálculos subsequentes, por apresentar uma estrutura lateral fixa.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Realizadas as análises de caracterização, definições geométricas e aplicações das metodologias empíricas, obtiveram-se os resultados apresentados nos tópicos a seguir.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SEDIMENTO

Conforme abordado no tópico de caracterização do sedimento, os ensaios de sedimentação foram realizados seguindo a normatização NBR 7181 de 2018. Após secagem da amostra atingindo a sua umidade hidrocópica, seguiu-se a sequência de peneiramentos. A Tabela 1 apresenta os valores percentuais retidos em cada diâmetro de peneira.

Tabela 1 – Resumo da análise granulométrica por peneiramento.

| Diâmetro (mm) | % Passante | % Retido |
|----------------------|-------------------|-----------------|
| 38,1 | 100,00% | 0,00% |
| 25,4 | 100,00% | 0,00% |
| 19,1 | 100,00% | 0,00% |
| 9,5 | 100,00% | 0,00% |
| 4,8 | 100,00% | 0,00% |
| 2 | 100,00% | 0,00% |
| 1,2 | 99,91% | 0,09% |
| 0,6 | 99,44% | 0,56% |
| 0,42 | 99,00% | 1,00% |
| 0,3 | 98,09% | 1,91% |
| 0,15 | 92,70% | 7,30% |
| 0,075 | 76,10% | 23,90% |
| 0,0604 | 71,57% | 28,43% |
| 0,0435 | 65,53% | 34,47% |
| 0,0310 | 62,75% | 37,25% |
| 0,0208 | 57,64% | 42,36% |
| 0,0150 | 50,67% | 49,33% |
| 0,0112 | 44,87% | 55,13% |
| 0,0081 | 36,69% | 63,31% |
| 0,0059 | 30,52% | 69,48% |
| 0,0042 | 27,30% | 72,70% |
| 0,0030 | 24,46% | 75,54% |
| 0,0021 | 22,35% | 77,65% |
| 0,0012 | 18,40% | 81,60% |

Fonte: Autora (2019).

Pela análise do peneiramento, foi possível observar que o solo em questão era predominantemente fino, pelo tamanho de suas partículas. Visto que o maior percentual retido foi no menor diâmetro da malha da peneira. Para confirmação, seguiu-se com o ensaio de sedimentação do material fino. Na Tabela 2, é possível observar as medições de densidades conforme indica a NBR 7181 de 2018.

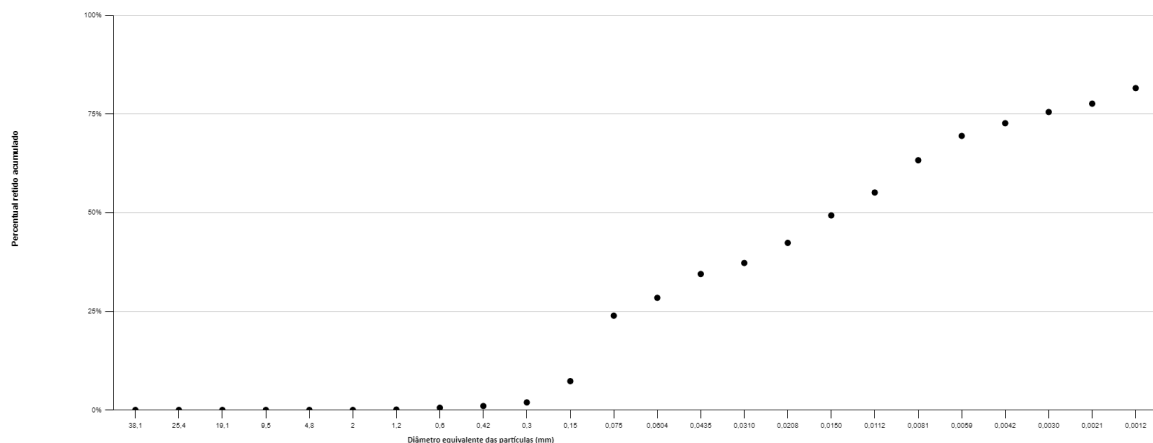
Tabela 2 – Ensaio de sedimentação.

| Tempo (min) | Temperatura (°C) | Viscosidade (g.s/cm2) | Densidade L | Dens. meio disp. Ld | Altura queda (cm) | Diâmetro (mm) | Diâmetro < Diâmetro % |
|-------------|------------------|-----------------------|-------------|---------------------|-------------------|---------------|-----------------------|
| 0,5 | 24,80 | 0,000009180 | 1,035 | 1,00417088 | 10,589850 | 0,0604 | 71,57% |
| 1 | 24,80 | 0,000009180 | 1,0324 | 1,00417088 | 10,985804 | 0,0435 | 65,53% |
| 2 | 24,80 | 0,000009180 | 1,0312 | 1,00417088 | 11,168552 | 0,0310 | 62,75% |
| 4 | 24,80 | 0,000009180 | 1,029 | 1,00417088 | 10,070790 | 0,0208 | 57,64% |
| 8 | 24,80 | 0,000009180 | 1,026 | 1,00417088 | 10,507260 | 0,0150 | 50,67% |
| 15 | 24,80 | 0,000009180 | 1,0235 | 1,00417088 | 10,870985 | 0,0112 | 44,87% |
| 30 | 24,70 | 0,000009201 | 1,02 | 1,00419373 | 11,380200 | 0,0081 | 36,69% |
| 60 | 24,00 | 0,000009349 | 1,0175 | 1,00435200 | 11,743925 | 0,0059 | 30,52% |
| 120 | 24,50 | 0,000009243 | 1,016 | 1,00423925 | 11,962160 | 0,0042 | 27,30% |
| 240 | 23,50 | 0,000009457 | 1,015 | 1,00446325 | 12,107650 | 0,0030 | 24,46% |
| 480 | 23,00 | 0,000009567 | 1,0142 | 1,00457300 | 12,224042 | 0,0021 | 22,35% |
| 1440 | 23,00 | 0,000009567 | 1,0125 | 1,00457300 | 12,471375 | 0,0012 | 18,40% |

Fonte: Autora (2019).

Como resultado final, obtém-se a distribuição granulométrica, conforme Gráfico 1.

Gráfico 1 – Distribuição Granulométrica



Fonte: Autora (2019).

Seguindo com os ensaios de caracterização da amostra, obteve-se os limites de liquidez e plasticidade. Os valores obtidos durante os ensaios do limite de liquidez podem ser observados na Tabela 3.

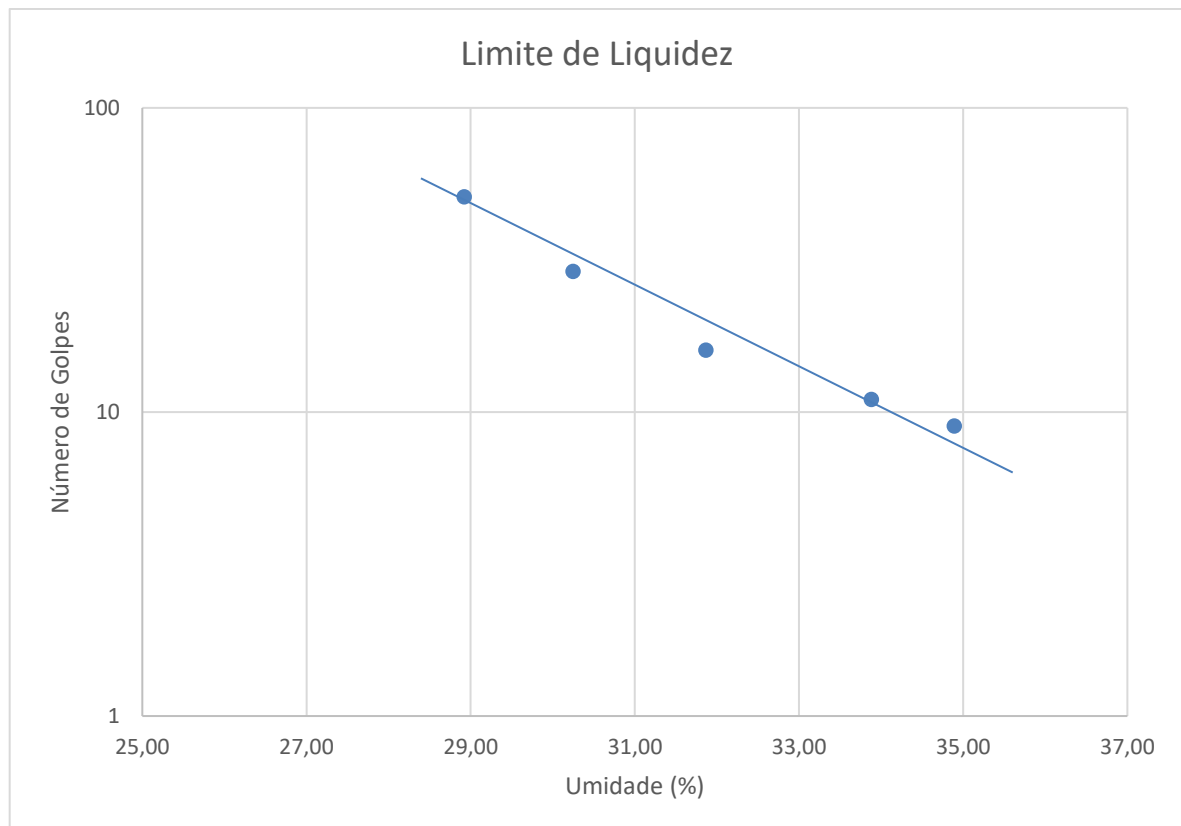
Tabela 3 – Dados do Ensaio de Limite de Liquidez

| Cápsula | Peso C (g) | S+C+A (g) | S+C (g) | Água (g) | Solo (g) | Umidade (%) | Golpes |
|---------|------------|-----------|---------|----------|----------|-------------|--------|
| 1 | 8,62 | 13,53 | 12,26 | 1,27 | 3,64 | 34,89 | 9 |
| 2 | 8,53 | 10,98 | 10,36 | 0,62 | 1,83 | 33,88 | 11 |
| 3 | 7,03 | 10,92 | 9,98 | 0,94 | 2,95 | 31,86 | 16 |
| 4 | 6,17 | 10,39 | 9,41 | 0,98 | 3,24 | 30,25 | 29 |
| 5 | 8,36 | 12,06 | 11,23 | 0,83 | 2,87 | 28,92 | 51 |

Fonte: Autora (2020).

Tendo-se obtido os valores de umidade e golpes, respectivamente, pôde-se plotar o Gráfico 2, que apresenta o número de golpes em escala logarítmica de acordo com a umidade do solo no ensaio.

Gráfico 2 – Limite de Liquidez



Fonte: Autora (2019).

Pelo gráfico pode-se avaliar que em 25 golpes o teor de umidade da amostra é de 31%, caracterizando seu limite de liquidez.

Em seguida pode-se observar os valores obtidos durante os ensaios de limite de plasticidade (Tabela 4).

Tabela 4 – Dados do ensaio de Limite de Plasticidade.

| Cápsula | Peso C (g) | S+C+A (g) | S+C (g) | Água (g) | Solo (g) | Umidade (%) |
|---------|------------|-----------|---------|----------|----------|-------------|
| 1 | 8,36 | 8,82 | 8,73 | 0,09 | 0,37 | 24,32 |
| 2 | 8,14 | 8,64 | 8,53 | 0,11 | 0,39 | 28,21 |
| 3 | 8,80 | 9,18 | 9,09 | 0,09 | 0,29 | 31,03 |
| 4 | 8,63 | 9,39 | 9,26 | 0,13 | 0,63 | 20,63 |
| 5 | 8,48 | 9,13 | 9,00 | 0,13 | 0,52 | 25,00 |
| 6 | 6,12 | 6,80 | 6,69 | 0,11 | 0,57 | 19,30 |
| 7 | 8,63 | 12,77 | 12,03 | 0,74 | 3,40 | 21,76 |
| 8 | 7,05 | 10,29 | 9,72 | 0,57 | 2,67 | 21,35 |
| 9 | 8,63 | 10,62 | 10,23 | 0,39 | 1,60 | 24,37 |

Fonte: Autora (2019).

Onde “C” é a cápsula, “S” o solo e “A” a água. Resultando num limite de plasticidade de 24,32%. Tendo-se os limites de liquidez e plasticidade, obteve-se o índice de plasticidade (IP) de 6,68%.

Por fim realizou-se a determinação da densidade real do solo, pelo ensaio do picnômetro (Tabela 5), conforme DNER-ME 093/94, obtendo-se um valor de $2,62 \text{ g.cm}^{-3}$, com a umidade corrigida de 0,04%, seguindo normativa vigente.

Tabela 5 – Dados do ensaio de determinação de densidade real.

| Picnômetro | P1 (g) | P2 (g) | P3 (g) | P4 (g) | D (g.cm^{-3}) |
|------------|---------|---------|---------|---------|--------------------------|
| 2 | 18,7900 | 28,8000 | 50,6700 | 44,4700 | 2,6273 |
| 3 | 16,8600 | 26,8700 | 48,3500 | 42,1800 | 2,6068 |
| 4 | 16,5600 | 26,5600 | 48,1600 | 41,9700 | 2,6247 |
| 5 | 17,4100 | 27,3900 | 50,5400 | 44,3900 | 2,6057 |
| 6 | 17,4300 | 27,4400 | 48,0500 | 41,9000 | 2,5933 |

Fonte: Autora (2019).

Com os valores obtidos em laboratório, recorreu-se à literatura para avaliação dos resultados e confirmação do tipo de solo estudado.

Utilizou-se o sistema unificado de classificação do solo proposto por Casagrande, conforme Figura 9 (SOUZA PINTO, 2006).

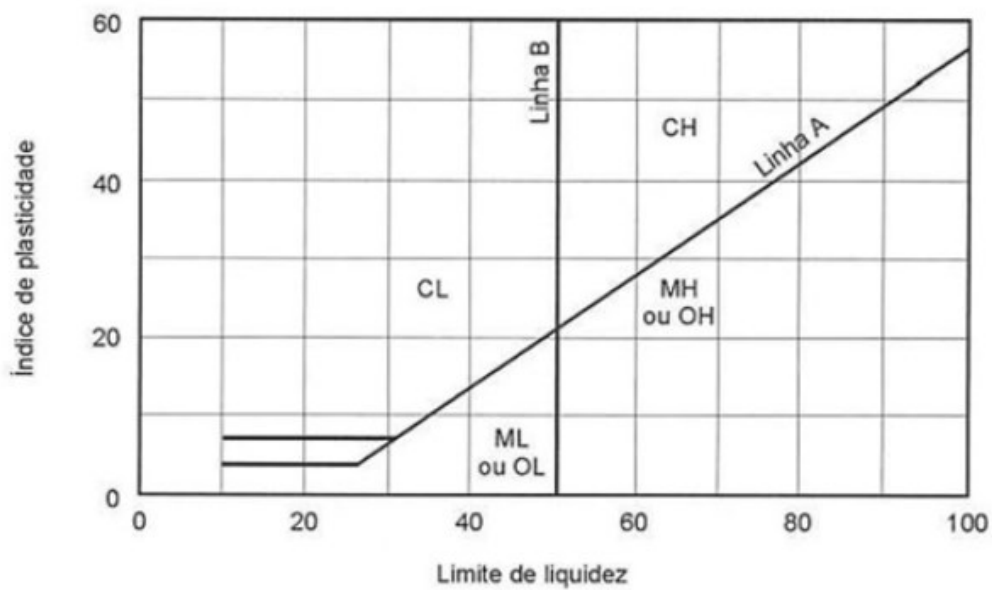
Figura 9 – Sistema unificado de classificação para solos finos.

| | | | | | |
|---------------|-----------------------|--------------------|-----------|-----------------------|----|
| % P #200 < 50 | G > S : G | % P #200 < 5 | GW | CNU > 4 e 1 < CC < 3 | |
| | | | GP | CNU < 4 ou 1 > CC > 3 | |
| | | % P #200 > 12 | GC | | |
| | | | GM | | |
| | | 5 < #200 < 12 | | GW-GC, GP-GM, etc. | |
| | | % P #200 > 50 | S > G : S | % P #200 < 5 | SW |
| SP | CNU < 6 ou 1 > CC > 3 | | | | |
| % P #200 > 12 | SC | | | | |
| | SM | | | | |
| 5 < #200 < 12 | | SW-SC, SP-SC, etc. | | | |
| % P #200 > 50 | C | CL | | | |
| | | CH | | | |
| | M | ML | | | |
| | | MH | | | |
| | O | OL | | | |
| | | OH | | | |

Fonte: Souza Pinto (2006).

Avaliando-se a carta de plasticidade para solos finos (Figura 10).

Figura 10 – Carta de Plasticidade



Fonte: Souza Pinto (2006).

Pôde-se concluir que a amostra em questão se tratava de uma mistura de argila e silte, com a presença de materiais orgânicos, devido a sua coloração escura e presença de conchas.

Para se confirmar a obtenção dos resultados, comparou-se com a análise realizada pela Hidrotopo (Figura 11) durante o projeto de batimetria.

Figura 11 – Análise de solo realizada pela Hidrotopo.



Figura 15 – Amostrador Van Veen.



Figura 16 – Amostra 1 coletada na Bacia de Evolução do Porto de Itajaí.



Figura 17 – Amostra 2 coletada no canal de acesso interno do Porto de Itajaí



Figura 18 – Amostra 3 coletada no canal de acesso externo do Porto de Itajaí.

| Nº Amostra | Eixo X | Eixo Y | Prof. (m) | Descrição |
|----------------------|------------|-------------|-----------|---|
| 1 (Bacia) | 732112.560 | 7022542.201 | 15,0 | Silte-argiloso fluido, com matéria orgânica amorfa, coloração cinza claro. |
| 2 (Canal Interno) | 733509.110 | 7021434.330 | 14,7 | Material composto por areia fina com material orgânica amorfa, coloração cinza claro. |
| 3 (Canal Externo) | 738126.103 | 7021244.898 | 15,1 | Material areno-siltoso, com conchas dispersas no pacote, de coloração cinza claro. |

Fonte: Hidrotopo (2018).

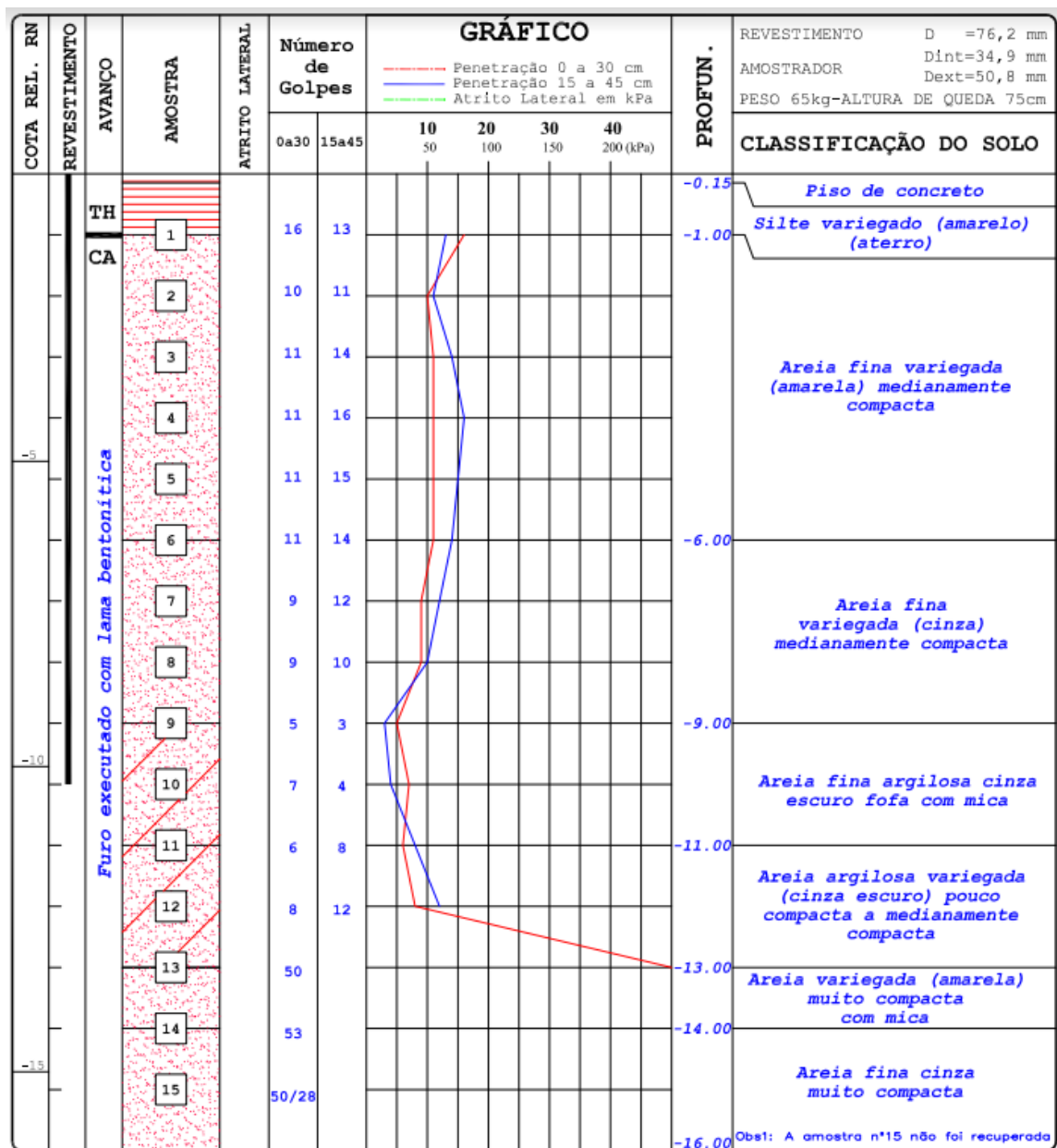
Conforme apresentado no relatório (Figura 11), foi possível demonstrar que o solo se tratava de fato de um material silte-argiloso, com presença de matéria orgânica. Confirmando os parâmetros utilizados posteriormente para obtenção das previsões de movimentação sedimentológica.

4.2 SONDAGENS E DESCRIÇÃO DO PERFIL GEOTÉCNICO DA REGIÃO

Objetivando-se analisar o perfil geotécnico da área a se tornar a nova bacia de evolução do canal, e de se estipular o peso específico do solo analisado, foram analisadas sondagens SPT.

As sondagens foram realizadas em 3 pontos da região, no ano de 2013. Para este trabalho, se considerou o ponto que coincidiu com as coordenadas de retirada da amostra analisada anteriormente. Na Figura 12, é possível observar os resultados da sondagem SPT.

Figura 12 – Sondagem SPT no Porto de Itajaí.



Fonte: Geoforma (2013).

É importante salientar que a amostra analisada em laboratório foi retirada de uma profundidade entre 12 e 13 metros, confirmando o resultado obtido pelos ensaios de caracterização e trazendo maior assertividade na determinação dos índices físicos.

Para se calcular a descarga de sedimentos, por fim, se utilizou da sondagem SPT para obtenção do peso específico do solo, conforme Figura 13.

Figura 13 – Peso específico de solos argilosos.

| N (golpes) | Consistência | Peso específico (KN/m³) |
|-------------------|---------------------|---|
| ≤ 2 | Muito mole | 13 |
| 3 - 5 | Mole | 15 |
| 6 - 10 | Média | 17 |
| 11 - 19 | Rija | 19 |
| ≥ 20 | Dura | 21 |

Quadro 1 – Peso específico dos solos argilosos

Fonte: Godoy (1972).

Chegando-se num peso específico de 17kN/m³.

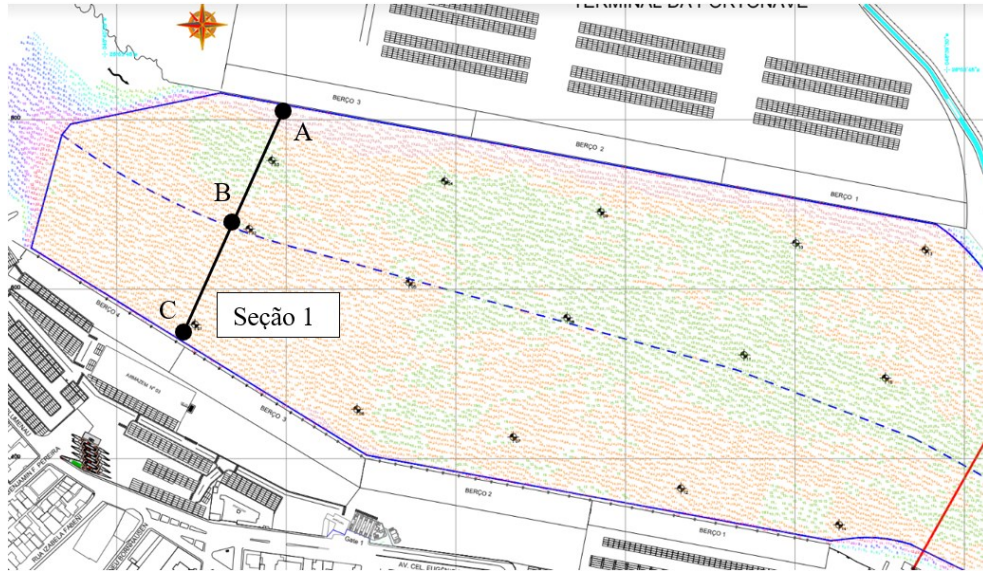
4.3 EVOLUÇÃO DA DEPOSIÇÃO DOS SEDIMENTOS

A fim de se observar historicamente as deposições de sedimentos no local, obteve-se resultados batimétricos dos anos de 1983 e 2019, com variações mensais.

Foram selecionadas 2 seções de análise. A primeira considerando o início do canal aquaviário, para se analisar os efeitos da grande diferença de profundidade, e a segunda no local de avaliação da amostra coletada, local este considerado no projeto para se tornar a nova bacia de evolução.

A Imagem 13 apresenta a localização da Seção 1 analisada, juntamente com seus respectivos pontos.

Imagem 13 – Seção 1 da via navegável.



Fonte: Hidrotopo (2019).

Analisou-se também o comprimento disponível no Google Earth (Imagem 14) para validação do comprimento da seção na batimetria, utilizado nos cálculos de raio hidráulico.

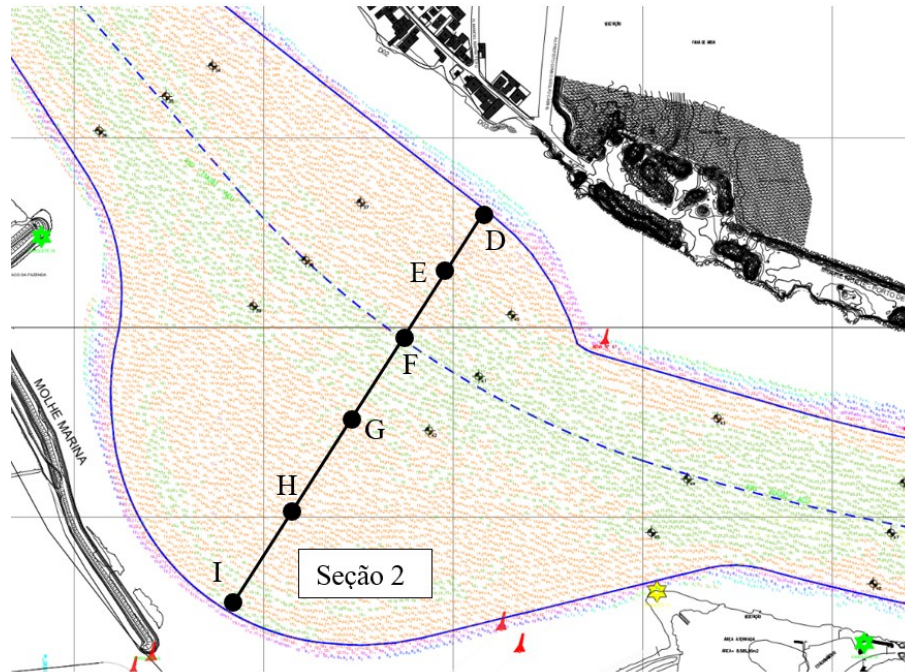
Imagem 14 – Comprimento da Seção 1.



Fonte: Google Earth (2021).

Em seguida, avaliou-se a sedimentação histórica na seção da nova bacia de evolução, na Imagem 15.

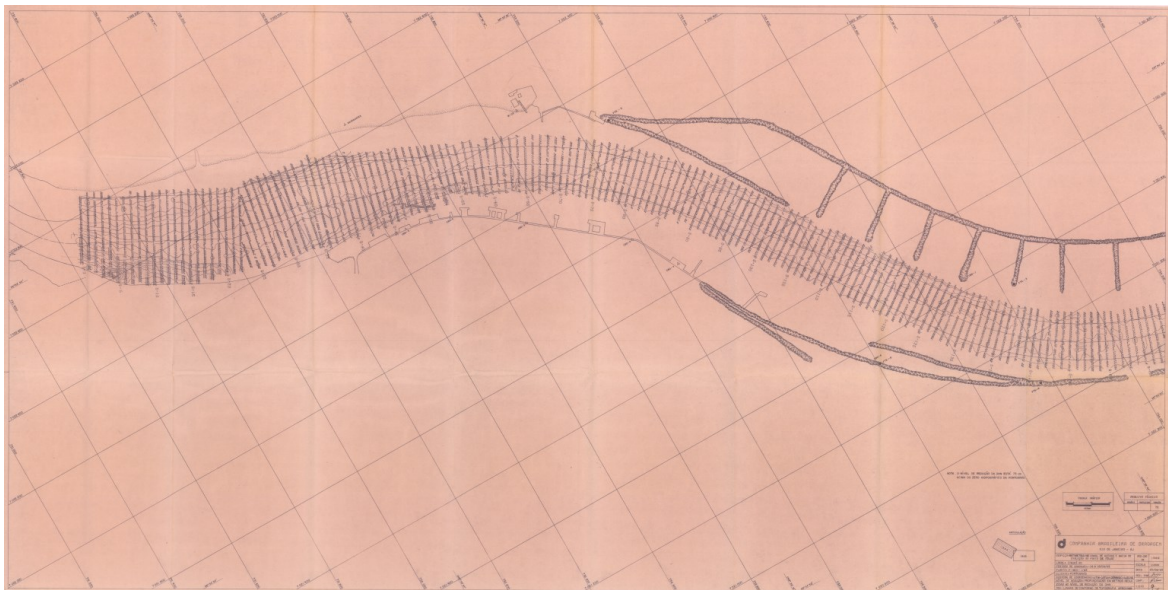
Imagem 15 – Seção 2 da via navegável.



Fonte: Hidrotopo (2019).

Os dados foram obtidos pelas batimetrias realizadas em 2019, juntamente com a batimetria de 1983, apresentada na Imagem 16.

Imagem 16 – Batimetria da via navegável de Itajaí em 1983.



Fonte: Porto de Itajaí (1983).

Com os dados obtidos nas plantas batimétricas pode-se compilar o comparativo na Tabela 6.

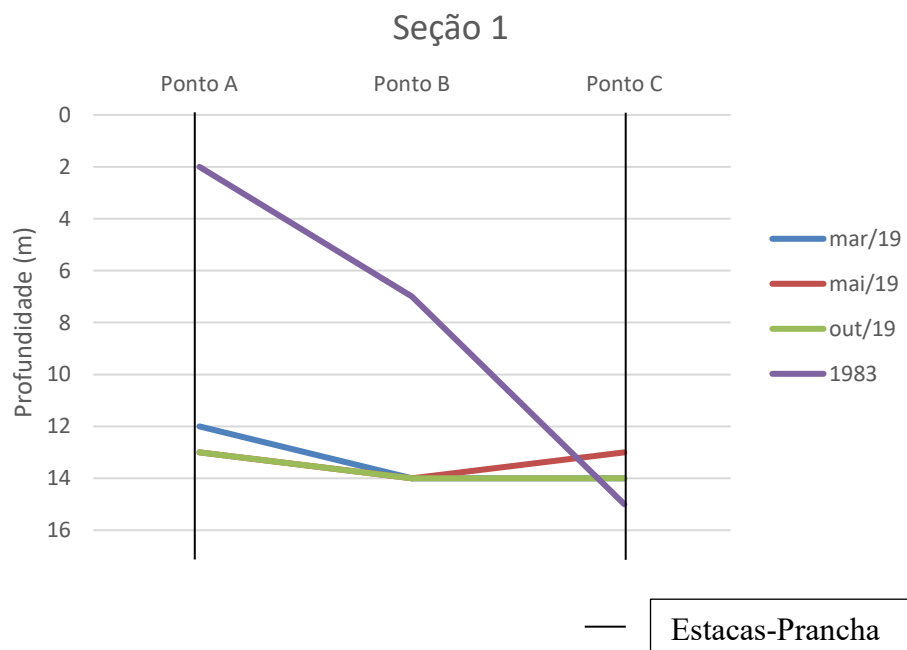
Tabela 6 – Profundidades históricas do canal do Porto de Itajaí.

| Batimetria | Seção 1 | | | Seção 2 | | | | | |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Ponto A (m) | Ponto B (m) | Ponto C (m) | Ponto D (m) | Ponto E (m) | Ponto F (m) | Ponto G (m) | Ponto H (m) | Ponto I (m) |
| mar/19 | 12 | 14 | 14 | 3 | 14 | 14 | 15 | 12 | 6 |
| mai/19 | 13 | 14 | 13 | 4 | 14 | 15 | 14 | 12 | 10 |
| out/19 | 13 | 14 | 14 | 7 | 14 | 15 | 14 | 15 | 10 |
| 1983 | 2 | 7 | 15 | 0 | 3 | 7 | 6 | 0 | 0 |

Fonte: Autora (2021).

Em seguida, fez-se possível a plotagem dos gráficos comparativos da seção 1 (Gráfico 3), importante salientar que as linhas se sobrepõem no gráfico.

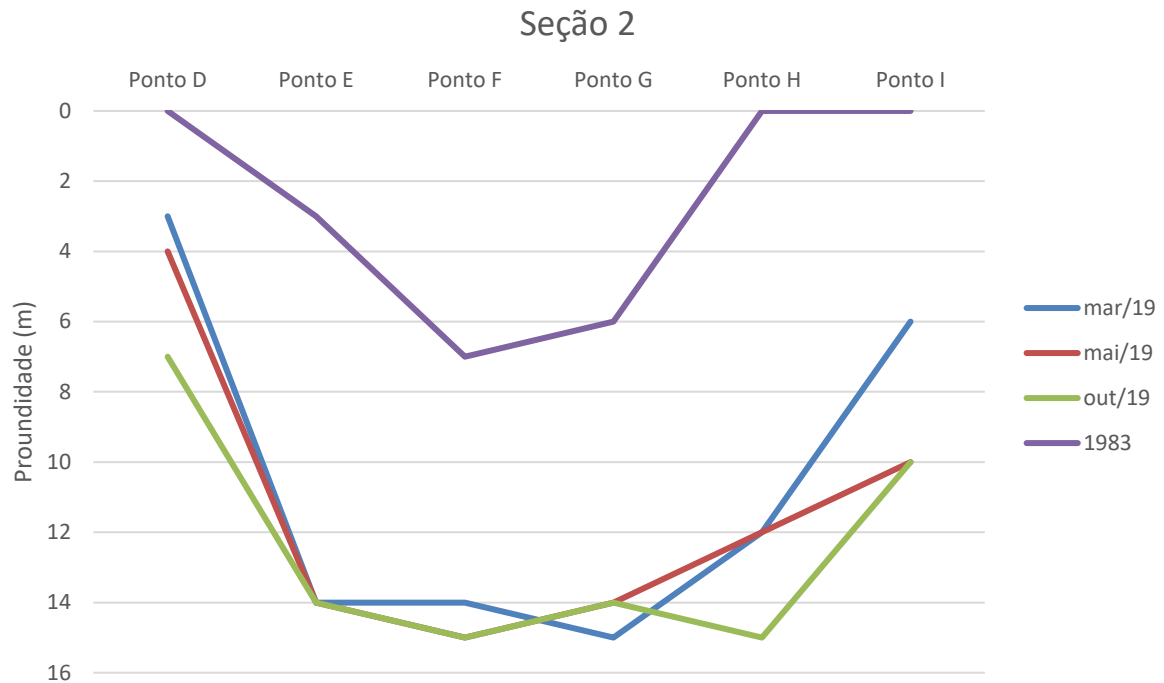
Gráfico 3 – Representação gráfica do fundo da via navegável de Itajaí na Seção 1.



Fonte: Autora (2021).

E em seguida, da Seção 2, apresentada no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Representação gráfica do fundo da via navegável de Itajaí na Seção 2.



Fonte: Autora (2019).

A variação brusca do ano de 1983 se dá pelo comprometimento do porto no plano de dragagem, a fim de se ampliar a seção aquaviária. Os valores obtidos em 2019 são de manutenção da profundidade, por este motivo apresentam menor variação.

4.4 COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE PREVISÃO DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Após calculados os valores de descargas de sedimentos pelos métodos clássicos e pioneiros, incluindo-se o método proposto pelo INPH, pôde-se chegar nos resultados apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Avaliação da Descarga de sedimentos por métodos empíricos.

| Método | Descarga de Sedimentos (m³/m²/ano) |
|---------------|---|
| Einstein | 33,63 |
| Van Rijn | 1,92.10 ¹³ |
| Pioneiro | 0,07 |
| INPH | 0,43 |

Fonte: Autora (2021).

Avaliando os valores obtidos por seção de área, chegou-se nos seguintes resultados, descritos da Tabela 8.

Tabela 8 – Avaliação da sedimentação por métodos empíricos.

| Método | Sedimentação (m³/ano) |
|---------------|---|
| Einstein | 135596,16 |
| Van Rijn | 7,74.10 ¹⁶ |
| Pioneiro | 282,24 |
| INPH | 1733,76 |

Fonte: Autora (2021).

Por fim, comparou-se com os valores medidos no histórico de dragagens do Porto de Itajaí. O histórico apresenta uma alta taxa de variação dos volumes dragados, trazendo o nível de sensibilidade da movimentação dos sedimentos frente às condições externas de clima e geomorfologia. Os anexos A e B apresentam os valores históricos levantados pela Hidrotopo (2018), apresentando volumes anuais de sedimentação que se aproximam do modelo de Einstein nos anos de 1971, e ao modelo do INPH em 1972. Os demais valores obtidos divergem consideravelmente dos valores calculados de forma empírica.

5 CONCLUSÕES

Inicialmente foi possível analisar o tipo de solo predominante no local, que mesmo próximo a zona marítima é predominantemente fino e orgânico, sendo impactado diretamente pelos efeitos de chuvas à montante, que impactam ainda no volume de solo em suspensão, e consequentemente no assoreamento do canal estudado.

Em contrapartida, analisando as plantas batimétricas, pôde-se concluir que durante o projeto de dragagem iniciado em 2016, o Porto de Itajaí manteve suas dragagens de manutenção dentro das expectativas para manter a profundidade de projeto, demonstrando um alto nível de comprometimento com a qualidade de sua via navegável.

Partindo para a análise de predição de sedimentação no local, os modelos empíricos apresentaram grande sensibilidade quanto ao valor real de sedimentação do solo. É importante salientar que cada modelo apresenta suas especificidades, e as condições ambientais e de solo interferem diretamente nos resultados e na acurácia das informações obtidas.

O primeiro modelo analisado, a Lei de Stokes (Modelo Pioneiro), se mostrou razoavelmente próxima aos valores obtidos pelo INPH, quando se comparado aos demais valores obtidos, mas apresenta uma sensibilidade quanto ao tipo de solo analisado, não sendo muito preciso em solos finos, além de apresentar uma deficiência quanto às análises geométricas e geomorfológicas da via navegável (POLETO, 2008).

Os modelos clássicos apresentaram uma alta taxa de variação em seus resultados, variando em mais de 10 vezes, representando uma falta de precisão ao tipo de solo analisado, sendo ainda mais indicado para solos mais grosseiros. Visto que solos finos apresentam uma suscetibilidade considerável à ação de correntes, aumentando o volume de partículas do estado de suspensão.

A grande variação dos resultados apresenta ainda uma importância quanto a modernização dos modelos utilizados na previsão de sedimentação em canais aquaviários, visto que as geometrias e características climáticas variam consideravelmente em cada região do globo.

É importante também se considerar que nos dias de hoje, sensores e modelos computacionais tem passado por uma transformação digital, proporcionando cada vez mais estudos e pesquisas relacionadas ao tema. Soluções robustas vem sendo criadas por meio de

inovação aberta entre universidades, *startups* e corporações que prezam pelo avanço científico e qualidade tecnológica no país.

Movimentos como o novo Hub Marítimo-Portuário, iniciado em julho de 2022, no Cubo (Itaú) reforçam a importância e investimento neste movimento e trazem uma gama de oportunidades para pesquisas.

A pesquisa por softwares de previsão de movimentação de sedimentos abre oportunidades para trabalhos futuros, com o objetivo de se analisar a assertividade destas modelagens numéricas, como HEC-RAS, e o comparativo destes métodos com os utilizados por organizações internacionais.

REFERÊNCIAS

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. **Engenharia portuária**. 1. ed. São Paulo: Blusher, 2014.

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. **Obras e gestão de portos e costas: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental**. 2. ed. São Paulo: Blusher, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**. Amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. **NBR 7181**. Solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

_____. **NBR 7180**. Solo – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **NBR 6459**. Solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

CARAZZAI, D. **Sonografia e batimetria de varredura do canal da Barra da Lagoa**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) - Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER – ME 093/94. **Solos – determinação da densidade real**. Brasília. 1994.

DIEHL, F. L. et al. **Atlas ambiental da foz do rio Itajaí-Açu**. Atlas ambiental. 918.164. Itajaí. 2017. Disponível em: <https://atlasrioitajai.com.br/>. Acesso em: 10 set. 2019.

GODOY, N. S..Fundações: Notas de Aula, Curso de Graduação. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos - Usp, 1972.

GRISON, F. **Uso do adcp como ferramenta de apoio no traçado e extrapolação de curva-chave na bacia hidrográfica do rio Cubatão do Norte**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

HIDROTOPO. **PROJETO BÁSICO DE DRAGAGEM DE MANUTENÇÃO DO CANAL DE NAVEGAÇÃO E DAS BACIAS DE EVOLUÇÃO DO PORTO DE ITAJAÍ/SC**. Itajaí: Hidrotopo, 2018

INPH. **ESTIMATIVA PRELIMINAR DA TAXA DE ASSOREAMENTO APÓS AS OBRAS DE AMPLIAÇÃO DO PORTO DE ITAJAÍ - SC**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Pesquisas Aquaviárias, 2012.

MENEGAZZO, L. R. **Avaliação econômica do programa nacional de dragagem: uma análise das obras realizadas nos portos marítimos.** 2016. Dissertação (Mestrado em Economia) - Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

Ministério da Infraestrutura. **Sistema Portuário Nacional.** Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transporte-aquaviario/snpta/sistema-portuario-nacional>. Acesso em: 9 jul. 2021.

OLIVEIRA, Ulysses Barbosa Gomes de. **A DRAGAGEM E OS IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE.** 2010. 43 f. Tese (Doutorado) - Curso de Tecnologia em Construção Naval, Uezo, Rio de Janeiro, 2010.

POLETO, Cristiano. **Ambiente e Sedimentos.** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2008.

PORTO DE ITAJAÍ. **Calado máximo de operação.** Itajaí. 2019. Disponível em: <http://www.portoitajai.com.br/novo/c/calado-maximo-operacao>. Acesso em: 10 set. 2019.

PORTO DE ITAJAÍ. **Histórico.** Itajaí. 2019. Disponível em: <http://www.portoitajai.com.br/novo/c/historia>. Acesso em: 10 set. 2019.

ROCHA, C. F. **O transporte de cargas no Brasil e sua importância para a economia.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) - Departamento de Ciências Administrativas, Contábeis, Econômicas e da Comunicação, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2015.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. **Ensaio de campo: e suas aplicações à engenharia de fundações.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

STEVENSON, Thomas. **THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF HARBOURS: a treatise on maritime engineering.** Edinburgh: Cambridge, 1874.

SOUZA PINTO, Carlos de. **CURSO BÁSICO DE MACÂNICA DOS SOLOS.** São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

ANEXO A – Histórico de dragagens do Porto de Itajaí (1958-1996).

| HISTÓRICO DE DRAGAGENS NO PORTO DE ITAJAÍ - PERÍODO DE 1958 a 2017 | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|------------|----------------------------|----------|------------|-------------------|------------|----------------------|-------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <i>Ano</i> | <i>Volume Dragado</i> | <i>Und</i> | <i>Origem dos Recursos</i> | <i>P</i> | <i>Und</i> | <i>Tolerância</i> | <i>Und</i> | <i>Classificação</i> | <i>Obs:</i> | <i>Volume total médio no ano</i> | <i>Volume total médio no ano</i> |
| 1958 | 200.000,00 | m³ | Ministério dos Transportes | 6,50 | m | 0,50 | m | Manutenção | Canal Ext | 200.000,00 | 200.000,00 |
| 1971 | 120.989,00 | m³ | Ministério dos Transportes | 6,00 | m | 0,50 | m | Manutenção | Bacia | 120.989,00 | 320.989,00 |
| 1971 | 174.100,00 | m³ | Ministério dos Transportes | 6,00 | m | 0,50 | m | Manutenção | Canal Int | 174.100,00 | 495.089,00 |
| 1971 | 196.800,00 | m³ | Ministério dos Transportes | 6,00 | m | 0,50 | m | Manutenção | Canal Ext | 196.800,00 | 691.889,00 |
| 1972 | 1.034,00 | m³ | Ministério dos Transportes | 6,00 | m | 0,50 | m | Manutenção | Bacia | 1.034,00 | 692.923,00 |
| 1972 | 45.000,00 | m³ | Ministério dos Transportes | 6,00 | m | 0,50 | m | Manutenção | Canal Int | 45.000,00 | 737.923,00 |
| 1978 | 531.378,00 | m³ | Ministério dos Transportes | 7,00 | m | 0,50 | m | Aprofundamento | Canal Ext | 531.378,00 | 1.269.301,00 |
| 1978 | 396.164,00 | m³ | Ministério dos Transportes | 7,00 | m | 0,50 | m | Manutenção | Canal Int | 396.164,00 | 1.665.465,00 |
| 1978 | 358.133,00 | m³ | Ministério dos Transportes | 7,00 | m | 0,50 | m | Manutenção | Bacia | 358.133,00 | 2.023.598,00 |
| 1980 | 43.147,00 | m³ | Ministério dos Transportes | 8,00 | m | 0,50 | m | Aprofundamento | Canal Ext | 43.147,00 | 2.066.745,00 |
| 1980 | 232.772,00 | m³ | Ministério dos Transportes | 8,00 | m | 0,50 | m | Manutenção | Canal Int | 232.772,00 | 2.299.517,00 |
| 1980 | 197.999,00 | m³ | Ministério dos Transportes | 8,00 | m | 0,50 | m | Manutenção | Bacia | 197.999,00 | 2.497.516,00 |
| 1982 | 241.004,00 | m³ | Ministério dos Transportes | 8,05 | m | 0,50 | m | Aprofundamento | Bacia | 241.004,00 | 2.738.520,00 |
| 1982 | 237.058,00 | m³ | Ministério dos Transportes | 8,05 | m | 0,50 | m | Manutenção | Canal Int | 237.058,00 | 2.975.578,00 |
| 1982 | 106.573,00 | m³ | Ministério dos Transportes | 8,05 | m | 0,50 | m | Manutenção | Canal Ext | 106.573,00 | 3.082.151,00 |
| 1989 | 172.000,00 | m³ | Ministério dos Transportes | 8,05 | m | 0,50 | m | Manutenção | - | 172.000,00 | 3.254.151,00 |
| 1990 | 1.596.694,00 | m³ | Ministério dos Transportes | 8,10 | m | 0,50 | m | Aprofundamento | - | 1.596.694,00 | 4.850.845,00 |
| 1991 | 528.512,00 | m³ | Próprios | 8,10 | m | 0,50 | m | Aprofundamento | - | 528.512,00 | 5.379.357,00 |
| 1992 | 842.610,97 | m³ | Próprios | 8,10 | m | 0,50 | m | Manutenção | - | 842.610,97 | 6.221.967,97 |
| 1993 | 841.180,00 | m³ | Próprios | 8,10 | m | 0,50 | m | Manutenção | - | 841.180,00 | 7.063.147,97 |
| 1994 | 53.927,00 | m³ | Próprios | 8,10 | m | 0,50 | m | Manutenção | - | 53.927,00 | 7.117.074,97 |
| 1995 | 796.870,00 | m³ | Próprios | 8,10 | m | 0,50 | m | Manutenção | - | 796.870,00 | 7.913.944,97 |
| 1996 | 2.250.000,00 | m³ | Próprios | 8,15 | m | 0,50 | m | Manutenção | - | 2.250.000,00 | 10.163.944,97 |

Fonte: Hidrotopo (2018).

ANEXO B – Histórico de dragagens do Porto de Itajaí (1997-2017).

| | | | | | | | | | | | |
|------|-----------------------|----|---|------------------|---|------|---|--|---|--------------|---------------|
| 1997 | 898.787,00 | m³ | Próprios | 8,15 | m | 0,50 | m | Manutenção | - | 898.787,00 | 11.062.731,97 |
| 1998 | 1.500.000,00 | m³ | Próprios | 9,15 | m | 0,50 | m | Aprofundamento | - | 1.500.000,00 | 12.562.731,97 |
| 1998 | 1.102.530,00 | m³ | Próprios | 10,00 | m | 0,50 | m | Manutenção e Aprofundamento | Man:1102530 Aprof:2177470 | 1.102.530,00 | 13.665.261,97 |
| 1999 | 1.234.345,21 | m³ | Próprios | 10,00 | m | 0,50 | m | Manutenção | Canal Ext, Int e Bacía | 1.234.345,21 | 14.899.607,18 |
| 2000 | 2.000.000,00 | m³ | Próprios | 10,00 | m | 0,50 | m | Manutenção | Canal Ext, Int e Bacía | 2.000.000,00 | 16.899.607,18 |
| 2001 | 1.870.000,00 | m³ | Próprios | 10,00 | m | 0,50 | m | Manutenção | Canal Ext, Int e Bacía | 1.870.000,00 | 18.769.607,18 |
| 2002 | 1.800.000,00 | m³ | Próprios | 10,00 | m | 0,50 | m | Manutenção | Canal Ext, Int e Bacía | 1.800.000,00 | 20.569.607,18 |
| 2003 | 1.893.750,00 | m³ | Próprios | 10,00 | m | 0,50 | m | Manutenção e Aprofundamento | Man:1800000 Aprof:93750 | 1.893.750,00 | 22.463.357,18 |
| 2004 | 1.850.430,04 | m³ | Próprios | 10,00 | m | 0,50 | m | Manutenção | Canal Ext, Int e Bacía | 1.850.430,04 | 24.313.787,22 |
| 2005 | 1.800.000,00 | m³ | Próprios | 10,00 | m | 0,50 | m | Manutenção | Canal Ext, Int e Bacía | 1.800.000,00 | 26.113.787,22 |
| 2006 | 4.373.679,00 | m³ | Próprios/DNIT | 11,00 e 12,00 | m | 0,30 | m | Manutenção e Aprofundamento | Manutenção (próprios):1102530 / Aprofundamento(DNIT):2873679 | 4.373.679,00 | 30.487.466,22 |
| 2007 | 2.000.000,00 | m³ | Próprios | 11,00 e 12,00 | m | 0,30 | m | Manutenção | Canal Ext, Int e Bacía | 2.000.000,00 | 32.487.466,22 |
| 2008 | 2.200.000,00 | m³ | Próprios | 11,00 e 12,00 | m | 0,30 | m | Manutenção | Canal Ext, Int e Bacía | 2.200.000,00 | 34.687.466,22 |
| 2009 | 3.500.000,00 | m³ | Secretaria de Portos e Próprios | 10,50 e 11,30 | m | 0,30 | m | restabelecimento de prof assoreamento das enchentes | próprios (manutenção): 1.000.000m³ e SEP(restabelecimento) : 2.500.000m³ | 3.500.000,00 | 38.187.466,22 |
| 2010 | 2.000.000,00 | m³ | Próprios | 10,50 e 11,30 | m | 0,30 | m | Manutenção | Canal Ext, Int e Bacía | 2.000.000,00 | 40.187.466,22 |
| 2011 | 8.200.000,00 | m³ | Próprios e Secretaria de Portos | 14,00 e 14,50 | m | 0,30 | m | Manutenção, Aprofundamento e restabelecimento de prof. Das enchentes | Próprios (manutenção): 350.000m³, SEP(aprofundamento): 6.200.000m³, SEP(restabelecimento) : 1.650.000m³ | 8.200.000,00 | 48.387.466,22 |
| 2012 | 300.000,00 | m³ | Próprios | 14,00 e 14,50 | m | 0,50 | m | Manutenção | canal interno e berços da Portonave | 300.000,00 | 48.687.466,22 |
| 2013 | 2.200.000 a 2.600.000 | m³ | Próprios | 14,00 e 14,50 | m | 0,50 | m | Manutenção | Canal Ext, Int e Bacía | 2.400.000,00 | 51.087.466,22 |
| 2014 | 2.200.000 a 2.600.000 | m³ | Próprios | 14,00 e 14,50 | m | 0,50 | m | Manutenção | Canal Ext, Int e Bacía | 2.400.000,00 | 53.487.466,22 |
| 2015 | 2.200.000 a 2.600.000 | m³ | Próprios | 14,00 e 14,50 | m | 0,50 | m | Manutenção | Canal Ext, Int e Bacía | 2.400.000,00 | 55.887.466,22 |
| 2016 | 2.200.000 a 2.600.000 | m³ | Próprios | 14,00 e 14,50 | m | 0,50 | m | Manutenção | Canal Ext, Int e Bacía | 2.400.000,00 | 58.287.466,22 |
| 2017 | 5.088.180,00 | m³ | Próprios até abril/2017. Demais meses, SNP/MTPA | 14,00 e 14,50 | m | 0,50 | m | Manutenção | 3.632.838,1m³(dragagem)+655.342m³(assoreamento durante 92 dias) recursos próprios | 5.088.180,00 | 63.375.646,22 |

Fonte: Hidrotopo (2018).