

Carolina Lyra da Silva Gomes

**ANÁLISE DA DINÂMICA SEDIMENTAR DO MATERIAL DE FUNDO DO
ESTUÁRIO DO RIO ITAJAÍ-AÇU (SC) COM BASE EM MODELOS DE
TENDÊNCIA DE TRANSPORTE**

**Trabalho Final de Curso
(Geologia)**

UFRJ
Rio de Janeiro
2018



UFRJ

Carolina Lyra da Silva Gomes

**ANÁLISE DA DINÂMICA SEDIMENTAR DO MATERIAL DE FUNDO DO
ESTUÁRIO DO RIO ITAJAÍ-AÇU (SC) COM BASE EM MODELOS DE
TENDÊNCIA DE TRANSPORTE**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador(es):

Leonardo Borghi
Juliane Castro Carneiro

Rio de Janeiro

Maio, 2018



UFRJ

GOMES, Carolina Lyra da

Silva

Análise da Dinâmica Sedimentar do material de fundo do estuário do rio Itajaí-Açú com base em modelos de tendência de transporte/ Carolina Lyra da Silva Gomes -- Rio de Janeiro, 2018. UFRJ / IGeo, 2018. P. 117 Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2018. Orientador(es): Leonardo Borghi, Juliane Castro Carneiro 1. Geologia. 2. Setor da Graduação – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Leonardo Borghi UFRJ. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III.

Rio de Janeiro

Maio, 2018

Carolina Lyra da Silva Gomes

ANÁLISE DA DINÂMICA SEDIMENTAR DO MATERIAL DE FUNDO DO
ESTUÁRIO DO RIO ITAJAÍ-AÇÚ (SC) COM BASE EM MODELOS DE
TENDÊNCIA DE TRANSPORTE

Trabalho Final de Curso de
Graduação em Geologia do Instituto
de Geociências, Universidade Federal
do Rio de Janeiro – UFRJ,
apresentado como requisito
necessário para obtenção do grau de
Geólogo.

Orientador(es):

Leonardo Borghi UFRJ
Juliane Castro Carneiro UFRJ

Aprovada em: 07/05/2018

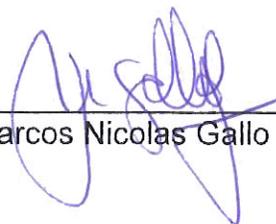
Por:



Orientador: Leonardo Borghi (UFRJ)



Kátia Leite Mansur (UFRJ)



Marcos Nicolas Gallo (UFRJ)

Dedico este trabalho a meu avô Celio Alves (in memoriam), que sempre me apoiou ao longo de toda a graduação, e tenho certeza que de algum lugar está participando comigo desta reta final.

Agradecimentos

A minha família, pela confiança, paciência e apoio incondicional fornecidos durante toda minha vida e em especial durante este trabalho.

Aos meus amigos e colegas de curso que compartilharam todos os campos, provas e momentos ao longo da graduação, sempre apoiando uns aos outros.

A toda a equipe do Laboratório de Sedimentos Coesivos / COPPE/ UFRJ pelo apoio ao longo de todo o trabalho.

À Patrícia Marroig cujos conhecimentos em ArcGIS são incríveis. Obrigada pelas aulas de SIG.

Ao Nilson Moreira, que realizou a instalação do programa deste trabalho e que graças à força de vontade permitiu que o Projeto Final se tornasse possível.

A Raphaela de Paiva Mendonça, que me deu todo apoio na utilização do software GiSedTrend, muito obrigado pela dedicação.

A Luís, meu parceiro de Iniciação Científica, sempre me salvando na parte de oceanografia.

A meu orientador Marcos Gallo, que me deu todo apoio necessário para que o trabalho fosse possível, pela dedicação, ajuda e ensinamentos transmitidos, não só durante o desenvolvimento do meu trabalho, mas também no dia a dia.

A Larissa Mendes, que fechou o trabalho com chave de ouro. Muito Obrigado!

Ao professor e meu orientador de curso Leonardo Borgh, geólogo, que me deu apoio na reta final.

E principalmente a minha coorientadora Juliane Castro Carneiro, oceanógrafa e doutoranda do Laboratório de dinâmica de sedimentos coesivos, que foi incrível, sempre disponível, dedicada, disposta a sempre melhorar o trabalho, me impulsionando e me dando o maior apoio do universo. Você é uma excelente profissional, uma excelente professora, que sua paixão pela sua área de atuação e pesquisa venha a inspirar muitos outros alunos. Saiba que seu empenho e dedicação foram os principais motivos para que eu me mantivesse sempre empenhada e com vontade de realizar um ótimo trabalho. Muuuuuuuuito Obrigado!

RESUMO

ANÁLISE DA DINÂMICA SEDIMENTAR DO MATERIAL DE FUNDO DO RIO ITAJAÍ-AÇU (SC) COM BASE EM MODELOS DE TENDÊNCIA DE TRANSPORTE

Carolina Lyra da Silva Gomes

Orientadores: Leonardo Borghi / Juliane Castro Carneiro

Resumo do Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Geologia – IGEO/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Geólogo.

Estuários são ambientes aquáticos de transição entre rios e o mar e sofrem influência das marés. Além disso, apresentam fortes gradientes ambientais, desde águas doces próximos de suas cabeceiras, águas salobras e águas marinhas próximo de suas desembocaduras. Há várias formas de estuários, determinadas não só pela geomorfologia da costa, mas também pelas características do(s) rio(s) e das massas de água oceânicas que ali se encontram. São feições efêmeras do ponto de vista geológico, pois são áreas de deposição sedimentar, e sua morfologia, no geral, reflete as características das principais forçantes que nelas atuam. Cerca de 60% de todas as grandes cidades se desenvolveram ao redor de estuário. Neste contexto, o Complexo Estuarino de Itajaí está localizado no litoral norte do estado de Santa Catarina, aproximadamente a 80 km ao norte de Florianópolis, na margem direita do rio Itajaí-Açu. Nele se instalam seis terminais privados e um Porto Público que compõem o Complexo Portuário de Itajaí, sendo assim, considerada a região de maior desembarque pesqueiro do Brasil e a principal via do comércio marítimo do estado. Outra importante atividade que vem se desenvolvendo na região desde o início dos anos 90, mais especificamente ao norte da desembocadura do estuário na Enseada da Armação do Itapocoroyé, é a maricultura. O local concentra grande parte do cultivo de moluscos, colocando o país na segunda posição na América Latina como grande produtor. Este trabalho pretende contribuir com os estudos de análise ambiental da região, para então melhorar e organizar o funcionamento da atividade antrópica no porto, aumentando a produtividade e reduzindo custos e mantendo o controle das atividades, para que não venham a causar agressões a geodiversidade local. Foram realizadas análises granulométricas de 69 amostras coletadas na região, dispostas em duas malhas: uma na desembocadura do estuário e outra a aproximadamente 4,5km da foz, e obtenção dos parâmetros estatísticos de cada amostra. Estes foram empregados como dados de entrada no programa GiSedTrend, permitindo obter um padrão geral de transporte líquido dos sedimentos da área de estudo, de acordo com três diferentes modelos principais (Mc Laren, 1981, Gao & Collins, 1991 e Le Roux, 1994), definindo o modelo de Mc Laren, 1981 como o mais indicado para região, demonstrando assim o fluxo principal de vazante no canal.

Palavras-chave: Estuário. Sedimento. Sedimentologia. Transporte.

Rio de Janeiro
Maio / 2018

ABSTRACT

AN ANALYSIS ON THE SEDIMENTARY DYNAMICS OF THE BED MATERIAL LOAD OF THE ITAJAÍ-AÇU (SC) RIVER BASED ON MODELS OF TRANSPORT TREND

Carolina Lyra da Silva Gomes

Orientadores: Leonardo Borghi / Juliane Castro Carneiro

Estuaries are a transition zone between river and maritime environments, suffering influences of tides and presenting strong environmental gradients such as freshwater next to headwaters, brackish water and sea water close to its mouth. There are many types of estuaries, determined not only by the geomorphology of the coast but also by the characteristics of the rivers and of the existing ocean water bodies. They are ephemeral features in regards to the geological point of view because of the sedimentary deposition in the area. Usually, its morphology reflects the main characteristics of the acting elements. Nearly 60% of all big cities have grown around estuaries. In this context, the Estuarine Complex of Itajaí is located in the north coast of the state of Santa Catarina, in the right margin of the Itajaí-Açu river, approximately 80 km from the north region of Florianópolis. The Complex is composed by six private terminals and one public harbour and it is considered the biggest region of fisheries landing and the main via of the state's maritime commerce. Another important activity – mariculture - is being developed in this region since the beginning of the 1990s, more specifically in the north side of the mouth of the estuary in the Armação do Itapocoroyé cove. This activity centres a huge part of the mollusc cultivation, positioning Brazil on the top two in Latin America as a producer. This paper aims to contribute to the studies of environmental analysis in the region and hence improving and organizing the operation of the anthropic activity in the harbour. In that way, the productivity increases, and the costs are reduced, which also helps to maintain the control of the activities, so it does not cause any harm to the local Geodiversity. 69 samples collected in the region have been examined: they are composed by two meshes, one in the mouth of the estuary and the other in approximately 4,5 km from the mouth. The parameters of the samples were applied as entrance data to the GiSedTrend program in a way that it was possible to allow a general pattern of liquid transportation of the sediments from the studied area.

Keywords: Estuary; Sedimentary; Sedimentology; Transportation

Rio de Janeiro
Maio / 2018

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização geográfica do município de Itajaí.....	5
Figura 2 – Obras de Abrigo do Porto de Itajaí.....	8
Figura 3 – Histórico de volumes de dragagem para o Porto de Itajaí entre 1958 e 2011.....	10
Figura 4 – Mapa geológico do Escudo Catarinense.....	12
Figura 5 – Representação em planta da batimetria do estuário do rio Itajaí-Açu.....	15
Figura 6 – Mapa das vertentes de Santa Catarina.....	17
Figura 7 – Bacia do rio Itajaí-Açu no contexto da linha de costa de Santa Catarina.....	17
Figura 8 – Mapa ilustrando os rios que deságuam ao longo do rio Itajaí-Açu.....	18
Figura 9 – Área inundada no município de Itajaí durante a enchente de 2008, representada pela mancha em azul.....	19
Figura 10 – Velocidade das correntes ao longo do estuário do Rio Itajaí de acordo com o Plano Mestre de Itajaí (2015).....	20
Figura 11 – Variações de níveis de água e velocidades das correntes durante um período de quadratura e sizígia medida na desembocadura do rio.....	21
Figura 12 – Variações de níveis de água e velocidades das correntes durante um período de quadratura e sizígia medida no médio estuário.....	22
Figura 13 – Duração das ondas de cheias, nas estações de Indaial e Blumenau nas enchentes de 1983 (A) e 1984 (B).....	24
Figura 14 – Constantes Harmônicas - Porto de Itajaí.....	26
Figura 15 – Diagrama de Shepard com a classificação das amostras de sedimento de fundo do rio Itajaí-Açu ao longo do canal até 7 km a montante da barra.....	29
Figura 16 – Relação entre descarga sólida em suspensão com a descarga líquida do rio Itajaí-Açu na estação limnimétrica de Indaial.....	29
Figura 17 – Regiões funcionais de um estuário hipotético.....	32
Figura 18 – Curva de frequência simples.....	35
Figura 19 – Curva de frequência cumulativa.....	35

Figura 20 – Escala granulométrica do programa Gradistat.....	36
Figura 21 – Representação do ângulo de espalhamento de pequenas e grandes partículas.....	38
Figura 22 – Curvas de distribuição de frequência mostrando a influência das caudas nos valores de assimetria.....	42
Figura 23 – Método de comparação do modelo Le Roux (1994).....	47
Figura 24 – Localização geográfica da Baía de Guanabara, com a Ilha do Fundão em destaque.....	49
Figura 25 – Mapa de distribuição da média granulométrica (em \emptyset), medida de tendência central calculada a partir das amostras de sedimento de fundo coletadas no entorno da Ilha do Fundão.....	50
Figura 26 – Transporte líquido de sedimentos no entorno da Ilha do Fundão, considerando os quatro casos combinados: CB+, FB-, FB+ e CB-, em uma grade regular, com espaçamento de 200 m entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend.....	51
Figura 27 – Pontos de amostragem na região de Hylebos Waterway em Tacoma, Washington, Estados Unidos.....	52
Figura 28 – Granulometria dos sedimentos em de Hylebos Waterway, Tacoma, Washington, Estados Unidos.....	53
Figura 29 – Caminhos de transporte de sedimentos líquidos, comportamento dinâmico e faixas de transporte correspondentes em Tacoma, Washington, Estados Unidos.....	54
Figura 30 – Mapa de localização da área de estudo do Complexo Estuarino de Paranaguá com as Baías de Antonina e Paranaguá (segmento E-W).....	55
Figura 31 – Região com maior concentração de material fino do Complexo Estuarino de Paranaguá.....	56
Figura 32 – Tendências de transporte sedimentar do segmento E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá para o ano de 2012 com as amostras totais.....	57
Figura 33 – Imagem ilustrando localização geral das malhas amostrais das duas campanha.....	59
Figura 34 – Fluxograma referente à metodologia aplicada para amostras coletadas ao longo do estuário do rio Itajaí-Açu.....	60
Figura 35 – Equipamento de difração a laser da marca MalvernMastersizer 2000 utilizada no presente trabalho.....	61

Figura 36 – Interface do plugin GiSedTrend no software Quantun GIS.....	63
Figura 37 – Batimetria do estuário do rio Itajaí-Açu.....	65
Figura 38 – Classificação granulométrica das 69 amostras coletadas ao longo do estuário do rio Itajaí-Açu. Em azul estão representadas as amostras da malha a jusante e em preto as amostras da malha a montante.....	66
Figura 39 – Mapa de distribuição da média granulométrica (\emptyset) das amostras pertencentes a malha a montante do estuário.....	67
Figura 40 – Mapa de distribuição da média granulométrica (\emptyset) das amostras pertencentes a malha a jusante do estuário.....	68
Figura 41 – Mapa de distribuição de areia nas amostras pertencentes à malha a montante do estuário.....	69
Figura 42 – Mapa de distribuição de areia nas amostras pertencentes à malha a jusante do estuário.....	69
Figura 43 – Mapa de distribuição de argila nas amostras pertencentes à malha a jusante do estuário.....	70
Figura 44 – Mapa de distribuição de argila nas amostras pertencentes a malha a montante do estuário.....	71
Figura 45 – Mapa de distribuição do desvio padrão, medida de dispersão calculada a partir das amostras de sedimento de fundo coletadas no estuário do rio Itajaí-Açu.....	72
Figura 46 – Mapa de distribuição do desvio padrão, medida de dispersão calculada a partir das amostras de sedimento de fundo coletadas no estuário do rio Itajaí-Açu.....	72
Figura 47 – Mapa de distribuição da assimetria, calculada a partir das amostras de sedimento de fundo coletadas no estuário do rio Itajaí-Açu.....	73
Figura 48 – Mapa de distribuição da assimetria, calculada a partir das amostras de sedimento de fundo coletadas no estuário do Rio Itajaí-Açu.....	74
Figura 49 – Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açu, considerando a combinação dos casos FB+, FB- e CB+, em uma grade regular, com espaçamento de 112 m entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend.....	75
Figura 50 – Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açu, considerando a combinação dos casos FB- e CB+, em uma grade regular, com espaçamento de 112 m entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend.....	76

Figura 51 – Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açu, considerando a combinação dos casos FB+, CB+, FB- e CB-, em uma grade regular, com espaçamento de 112 m entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend.....	77
Figura 52 – Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açu, considerando os casos FB- FB+ e CB+, em uma grade regular, com espaçamento de 221 m entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend.....	78
Figura 53 – Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açu, considerando a combinação dos casos FB- e CB+, em uma grade regular, com espaçamento de 221 m entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend.....	79
Figura 54 – Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açu, considerando a combinação dos casos FB+, CB+, FB- e CB-, em uma grade regular, com espaçamento de 221 m entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend.....	80
Figura 55 – Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açu, considerando os casos FB- FB+ e CB+, que foi o modelo que melhor representou o fluxo de sedimentos da região, em uma grade regular, obtido através do programa GiSedTrend.....	81
Figura 56 – Em destaque, malha amostral definida entre a malha a montante e jusante.....	82
Figura 57 – Pontos de coleta de amostras no canal do rio Itajaí-Açu realizada no trabalho de Souza (2007).....	83
Figura 58 – Porcentagem da fração fina (fração > 4Ø) presente em cada amostra da malha amostral a jusante do estuário do rio Itajaí-Açu.....	84
Figura 59 – Sedimentação em rios meandrantess.....	85
Figura 60 – Imagem que mostra os aspectos morfométricos do curso inferior do rio Itajaí-Açu.....	86
Figura 61 – Classificação dos sedimentos das malhas a montante e a jusante do estuário do rio Itajaí-Açu.....	87
Figura 62 – Média da velocidade das correntes no estuário do rio Itajaí-Açu entre os anos de 2012 e 2016.....	91
Figura 63 – Velocidade das correntes de vazante e enchente coletadas na desembocadura do rio Itajaí-Mirim, no ano de 2014, em períodos de sizígia e quadratura e velocidade residual resultante.....	92
Figura 64 – Dados de maré prevista e medida no dia 10 de junho de 2016, data da coleta das amostras da malha a jusante do estuário do rio Itajaí-Açu.....	92

Figura 65 – Dados de maré prevista e medida nos dias 16, 17 e 18 de agosto de 2016, data da coleta das amostras da malha a montante do estuário do rio Itajaí-Açu.....93

Figura 66 – Variação textural da malha a montante. Maior concentração de finos (silte + argila) no centro do canal e de grossos (areia) nas margens.....95

Figura 67 – Batimetria da malha a jusante. Setas indicam regiões dragadas.....96

LISTA DE TABELAS

TABELA I – Produção específica de sedimentos.....	30
TABELA II – Classificação das amostras pelo desvio padrão pelo Método Gráfico....	40
TABELA III – Classificação das amostras pela assimetria pelo Método Gráfico.....	42
TABELA IV – Casos de tendência de transporte representados com base nos parâmetros granulométricos.....	44
TABELA V – Comparação dos modelos de tendência de transporte de sedimentos....	47
TABELA VI – Parâmetros estatísticos das amostras 28, 29 e 30 do trabalho de Souza (2007).....	83

LISTA DE ABREVIATURAS

TUP – Terminais de Uso Privado

STA – *Sediment Transport Analysis*

GIS – *Geographic Information System*

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UTM – Universal Transversa de Mercator

TXT – Texto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 ÁREA DE ESTUDO	5
2.1 Localização geográfica e descrição.....	5
2.2 Geologia regional.....	11
2.3 Caracterização / fisiografia.....	13
2.3.1 Características hidrológicas do estuário.....	16
2.3.2 Clima.....	18
2.3.3 Hidrodinâmica costeira.....	20
2.3.4 Forçantes oceânicas.....	25
2.3.5 Ondas.....	27
2.3.6 Salinidade.....	27
2.3.7 Características dos sedimentos.....	28
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
3.1 Ambiente estuarino e sua relação com depósitos sedimentares.....	31
3.2 Transporte de sedimentos.....	33
3.3 Análise granulométrica.....	34
3.3.1 Método de análise: análise granulométrica por difração a laser.....	37
3.4 Parâmetros granulométricos.....	39
3.4.1 Método gráfico de Folk & Ward (1947).....	39
3.4.1.1 Média.....	39
3.4.1.2 Desvio padrão.....	40
3.4.1.3 Assimetria.....	41
3.5 Modelos de tendência de transporte de sedimentos (<i>Sediment Transport Analysis – STA</i>).....	43

3.5.1 Fundamentos dos modelos de análise de tendência direcional.....	43
3.5.2 Evolução dos modelos STA.....	44
3.5.2.1 McLaren (1981).....	44
3.5.2.2 Gao & Collins (1991).....	45
3.5.2.3 Le Roux (1994 a, b).....	46
3.6 Exemplo de estudos.....	48
3.6.1 Sistema estuarino da Ilha do Fundão/RJ, Brasil, Mendonça & Ribeiro (2014).....	48
3.6.2 Hylebos Waterway (EUA), McLaren (2005).....	51
3.6.3 Baias de Antonina e Paranaguá/PR, Brasil, Carneiro (2013).....	54
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	58
4.1 Batimetria.....	58
4.2 Trabalho de campo e amostragem.....	58
4.2.1 Análise laboratorial.....	59
4.2.2 Determinação da distribuição granulométrica.....	60
4.3 Pós-processamento.....	62
4.3.1 Gradistat.....	62
4.3.2 GiSedTrend.....	62
5 RESULTADOS.....	65
5.1 Batimetria.....	65
5.2 Classificação granulométrica.....	65
5.3 Distribuição dos parâmetros estatísticos.....	66
5.3.1 Média.....	66
5.3.2 Desvio padrão.....	71
5.3.3 Assimetria.....	73
5.4 Tendências de transportes.....	74

5.4.1 Região a montante.....	74
5.4.2 Região a jusante.....	77
6 MALHAS INTEGRADAS.....	81
7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	87
7.1 Distribuição dos parâmetros granulométricos.....	87
7.2 Tendência de transporte de sedimentos.....	89
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	98
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
ANEXOS.....	103

1 INTRODUÇÃO

Segundo Folk & Ward (1957), a granulometria e a sedimentologia podem ser utilizadas como uma ferramenta básica de caracterização de substrato com o propósito de interpretar os ambientes de sedimentação.

Sedimentologia é o estudo dos processos de formação, transporte e deposição de partículas sedimentares em ambientes de sedimentação continentais e marinhos, que eventualmente formam depósitos sedimentares. Por estarem presentes em cerca de 75% da superfície da crosta, o estudo das rochas sedimentares é considerado de suma importância e auxilia em diversas outras áreas, principalmente na caracterização de sedimentos para análises de ambiente e processos, contribuindo para um planejamento ambiental e urbano.

Sedimento é um material desagregado, sólido e depende diretamente da forma, composição e tamanho do material de origem. A formação de sedimentos se dá inicialmente pelo processo de intemperismo e erosão, que geram partículas desagregadas. Estas posteriormente serão transportadas pela ação da gravidade, água, ar, gelo, fluxos de massa, entre outros. A deposição pode ocorrer quando o material é submetido à baixa energia, gerando assim o acúmulo e, portanto, formação de um corpo sedimentar influenciado pelas características químicas, biológicas e temperatura do local.

Na natureza, encontram-se depósitos sedimentares constituídos por elementos com decímetros a metros de diâmetro, até sedimentos compostos por partículas extremamente pequenas. Desta forma, a análise granulométrica é um parâmetro importante e descritivo para a determinação de diversos fatores ambientais e hidrodinâmicos das regiões, como a distância do material da área fonte, além da composição química desta área fonte, direção de transporte de sedimentos, tendência de assoreamento em determinados locais, entre outros.

Segundo Gao & Collins (1991), a partir da análise da distribuição sedimentar, pode-se: 1) caracterizar os ambientes deposicionais; 2) identificar os diferentes mecanismos controladores do transporte de sedimentos e, através da comparação das características específicas da distribuição sedimentar, 3) delinear os padrões de transporte.

Modelos que representem a dinâmica sedimentar de ambientes costeiros e marinhos são de grande aplicabilidade em estudos de engenharia, em análises de risco ambiental e na prática do gerenciamento costeiro, bem como na compreensão da evolução geológica desses ambientes, pois auxiliam no planejamento urbano da localidade e determinam quais obras são mais indicadas para manutenção do local.

Diversos estudos, como McLaren (1981) e McLaren & Bowles (1985), iniciaram o desenvolvimento e aplicação de modelos de tendência de transporte de sedimentos conceituais baseados na análise da variação dos três principais parâmetros estatísticos granulométricos, são eles: média, desvio padrão e assimetria. Estes modelos de tendência de transporte de sedimentos evoluíram de acordo com a variação dos ambientes analisados, tendo início com o modelo unidirecional de McLaren (1985) e evoluindo para os modelos bidirecionais de Gao & Collins (1992) e de Le Roux (1994 a, b).

Sedimentos de superfície de fundo de ambientes subaquáticos refletem a interação entre a energia hidrodinâmica do ambiente, o aporte sedimentar e a natureza do substrato, constituindo uma informação importante para a compreensão dos processos de sedimentação (LESSA & DIAS, 2010). No presente trabalho será realizada toda a caracterização dos sedimentos de fundo do estuário do rio Itajaí-Açu e a aplicação de modelos de tendência de transporte de sedimentos.

Foi analisada a distribuição espacial de sedimentos de fundo na região de Itajaí e a partir da determinação dos parâmetros estatísticos granulométricos das amostras de fundo, sendo que os modelos de análises de tendência de transporte foram utilizados para a interpretação e inferência da caracterização física e hidrodinâmica da região.

Neste contexto, a área de estudo utilizada neste trabalho corresponde ao estuário do rio Itajaí-Açu, formado em um episódio transgressivo no Holoceno, sendo considerada a região de maior desembarque pesqueiro do Brasil e a principal via de comércio marítimo do estado de Santa Catarina. Além disso, nos últimos anos, o Complexo Portuário de Itajaí tem se especializado na movimentação de contêineres. Em 2013, o complexo portuário movimentara um total de 12,1 milhões de toneladas, e até 2030 espera-se que a demanda total cresça a uma taxa média de 3% ao ano, chegando a 20,2 milhões de toneladas (LABTRANS, 2015).

Outra importante atividade que vem se desenvolvendo na região desde o início dos anos 90 do século passado, mais especificamente ao norte da desembocadura do estuário na Enseada da Armação do Itapocoroyé, é a maricultura regional. Na região se

concentra grande parte do cultivo de moluscos, colocando o país na segunda posição na América Latina como grande produtor. A sustentabilidade desta atividade está diretamente ligada à qualidade da água costeira, tanto no que diz respeito ao fornecimento de alimento para os organismos quanto à ausência de contaminantes. É possível que um balanço de exportação de sedimentos e nutrientes do estuário esteja diretamente associado ao sucesso desta atividade naquele local (SCHETTINI *et al*, 1999).

Regiões estuarinas são áreas geralmente propícias para o desenvolvimento de atividades portuárias em função de sua localização privilegiada, abrigada em relação à incidência de ondas. Além disto, a presença comum de profundidades naturais elevadas favorece a implantação de terminais portuários, em função de necessidades relativamente baixas de procedimentos de dragagem (PION, 2017).

Por ser considerado um dos portos mais importantes para o comércio marítimo do Brasil, o fluxo nesta região é cada dia mais intenso e a manutenção das profundidades com assoreamentos frequentes requer dragagens. Por isso, a ação antrópica vem alterando de forma significativa os processos hidrodinâmicos naturais da região. O investimento em estudos sedimentológicos e lama fluida ajudam a otimizar e organizar a atividade antrópica realizada na região, reduzindo custos e mantendo uma boa relação do homem com a natureza, reduzindo problemas ambientais que possam influenciar negativamente a atividade econômica da região.

No Baixo Vale está localizado o estuário, correspondendo à porção final do rio Itajaí-Açu (Superintendência do Porto de Itajaí, 2012). Nestas áreas ocorre a interação entre a água doce proveniente dos rios e a água salgada de origem oceânica, condicionando o favorecimento ao depósito de sedimentos finos no fundo. As propriedades físico-químicas da água salobra provocam a atração entre os grãos, sendo que estes formam flocos maiores, que tendem a se depositar com maior facilidade. Este acúmulo sedimentar junto ao fundo pode, por sua vez, interferir nas operações portuárias, podendo ser determinante para os procedimentos de dragagem nos espaços náuticos.

Portanto, o estudo e conhecimento da hidrodinâmica do estuário do rio Itajaí-Açu é de suma importância para o planejamento da manutenção dos canais de acesso do porto, garantindo ao mesmo tempo um canal de navegação seguro e a entrada de navios com calado cada vez maior.

Além disso, a região de Itajaí conta com um histórico de grandes enchentes que causam grandes prejuízos socioeconômicos ao local. Assim, conhecer a hidrodinâmica, além de permitir uma manutenção do canal para o constante desenvolvimento das atividades econômicas do porto, também permite um conhecimento prévio de áreas propícias à inundação, auxiliando no monitoramento local para a população.

O objetivo geral do trabalho consiste no estudo e inferência da dinâmica sedimentar da região do estuário do rio Itajaí-Açu, a partir de caracterização sedimentológica e análise dos modelos de tendência de transporte sedimentar. Especificamente será realizada a caracterização da distribuição granulométrica e os parâmetros estatísticos granulométricos dos sedimentos de fundo do estuário do rio Itajaí-Açu e a batimetria, para então analisar diferentes casos de tendência de transporte de sedimentos, definindo um modelo mais indicado para a região e determinando, assim, padrões sedimentares para a área analisada. Por fim, com o trabalho, espera-se que ocorra contribuição para futuros projetos e estudos relacionados à hidrodinâmica da região.

2 ÁREA DE ESTUDO

São apresentadas no presente capítulo a localização e a descrição da área de estudo e suas principais características.

2.1 Localização geográfica e descrição

A região de interesse é o Porto de Itajaí, localizado no município de Itajaí, litoral norte do estado de Santa Catarina, aproximadamente a 80 km ao norte de Florianópolis, na margem direita do rio Itajaí-Açu, a 3,2 km da sua foz, como pode ser observado na Figura 1. Suas coordenadas são: Latitude: 26° 54' 02'' S Longitude: 048° 39' 04'' W.

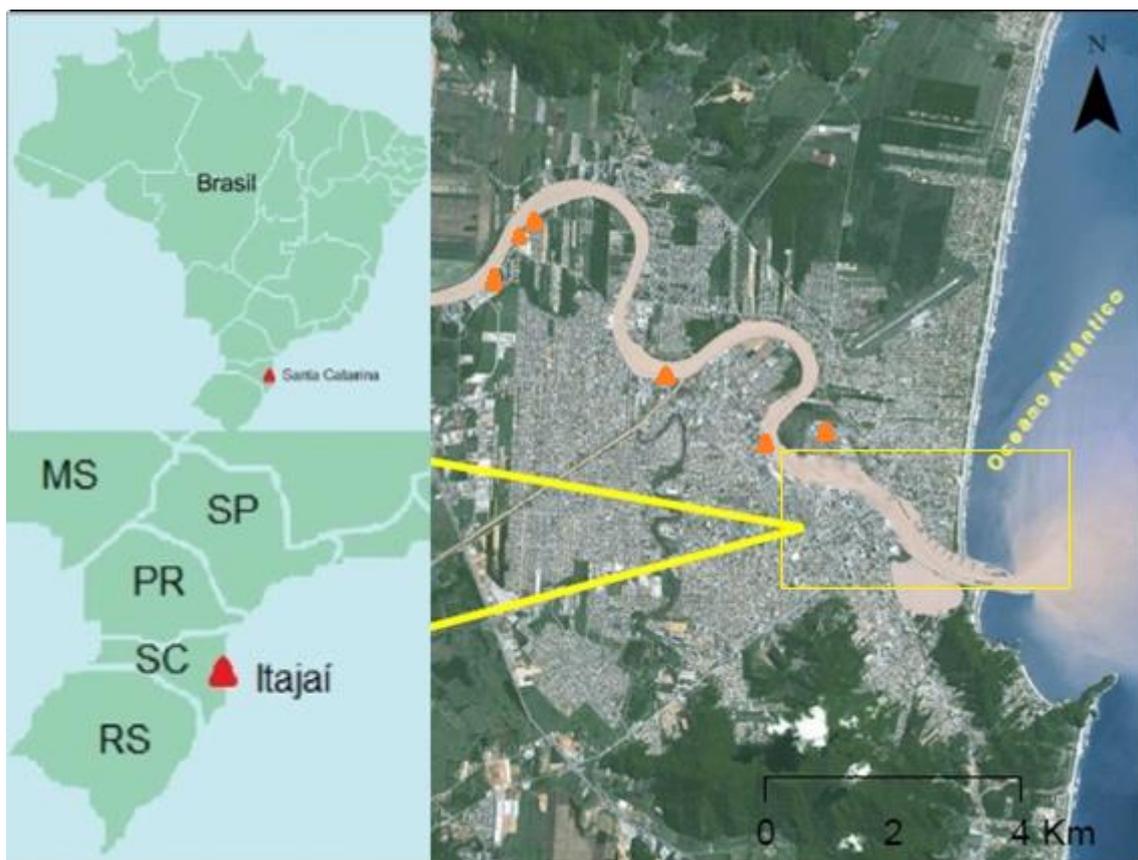


Figura 1 – Localização do município de Itajaí. Em vermelho, a localização dos terminais que compõem o Complexo Portuário de Itajaí. Em amarelo, a área que compreende o porto público de Itajaí.

O complexo portuário de Itajaí possui uma área de cerca de 8,5 km de distância da costa, conta com o Porto Público de Itajaí e seis terminais de uso privado (TUP). São eles:

- Teporti Terminal Portuário Itajaí S.A.;
- Poly Terminais S.A.;
- Barra do Rio Terminal Portuário;
- Trocadeiro Terminal Portuário;
- Terminal Portuário Braskarne;
- Portonave S.A. Terminais Portuários de Navegantes.

A infraestrutura do Complexo Portuário de Itajaí ainda conta com uma rede de apoio logístico, formada pelos terminais retroportuários, portos secos, empresas de apoio logístico e outras prestadoras de serviço que garantem excelentes condições operacionais (LABTRANS, 2015). É, portanto, considerada a região de maior desembarque pesqueiro do Brasil e a principal via do comércio marítimo do estado. A Figura 1 ilustra a localização do porto público e dos terminais de uso privativo que fazem parte do Complexo Portuário de Itajaí.

A literatura registra que os primeiros estudos técnicos sobre o Porto de Itajaí datam de 1905 mas somente por volta de 1914 foram construídos 700 metros lineares do molhe Sul e, mais tarde, realizadas outras obras, incluindo as do molhe Norte. As obras do porto foram iniciadas efetivamente em 1938 com a construção do primeiro trecho de cais. Os trabalhos foram divididos em duas etapas e se prolongaram até meados de 1956, ano em que também teve início a edificação do primeiro armazém frigorífico do Porto de Itajaí. O Porto de Itajaí foi considerado porto organizado em 1966 pelo decreto 58.780/66, que também criou a Junta Administrativa do Porto de Itajaí (Japi), responsável pela gestão e operação das atividades portuárias. A justificativa de organizar o porto era sua importância comercial e industrial no Vale do Itajaí e a necessidade de integrá-lo no sistema portuário nacional.

Em 1977 foi erguido o prédio administrativo do Porto e o terceiro armazém. Até a década de 70 as operações do porto eram alavancadas pelas cargas de madeira. Porém,

no final dos anos 1960, o ritmo de extração da madeira começou a apresentar queda, revertendo a longa tendência de crescimento desde o início do século. Após queda brutal nas exportações de madeira, o Porto de Itajaí teve que se adaptar ao novo padrão de crescimento da economia catarinense. No início dos anos de 1970, o Porto de Itajaí passou a diversificar suas operações. Começou a operar cargas de açúcar, de produtos congelados e, logo em seguida, os contêineres, que hoje são o carro-chefe da movimentação

O porto enfrentou duas grandes crises provocadas pela destruição parcial de sua estrutura por duas grandes enchentes, uma em 1983 e outra em 2008. O ano de 2009 foi marcado pela redução nas operações, mas também pela superação. No final do exercício o Porto de Itajaí já respondia pela segunda posição no ranking nacional de movimentação de contêineres, posição que mantém até hoje. Já no ano de 2010 encerrou com um resultado que representou um avanço de 61% em relação a 2009.

O Complexo Portuário conta com obras de abrigo, molhes e espigões. Os espigões têm como função a regularização da largura do rio, enquanto os molhes têm como função a diminuição da incidência de ondas no canal. A configuração dos molhes, sendo o molhe sul mais proeminente que molhe norte, implica que o transporte residual de sedimentos se dê no sentido sul-norte.

O molhe sul possui 800 m de comprimento. Há, aproximadamente, 480 m de tetrápodes na parte exposta ao mar desse molhe e aproximadamente 200 m de tetrápodes em sua parte interna. Já o molhe norte possui aproximadamente 1070 m de comprimento e é composto apenas por blocos de rocha em sua parte externa. Existem ainda sete espigões, de larguras variando entre 120 m e 140 m situados na margem norte do rio, com o intuito de manter a largura da barra do canal (LABTRANS, 2015), como pode ser observado na Figura 2. É importante destacar que futuras obras na região promoverão alterações nas obras de abrigo atuais.



Figura 2 – Obras de abrigo do porto de Itajaí.

A manutenção do canal de acesso é realizada através de constantes dragagens. Estas obras de dragagem de material fino, visando o aprofundamento do canal de acesso, provocam alterações no processo sedimentológico do estuário, já que tendem a aumentar a intrusão salina e, de acordo com Ottoni (1986), podem provocar uma maior penetração de materiais arenosos de origem marinha.

Desde 1885 há registros de dragagens no estuário do rio Itajaí-Açu (ERIA), mas se tornaram mais frequentes e significativas após a década de 60, com o crescimento do comércio marítimo. Desde então, novas dragagens foram realizadas para aumentar a profundidade do canal de acesso ao porto que, em 2012, já apresentava um valor médio de 14 m (ACQUAPLAN, 2013).

Em 2009, foi proposto o aumento da profundidade do canal de acesso e bacia de evolução de 11 m para 14 m. A dragagem de aprofundamento foi realizada entre 2011 e 2012 e a cota se estabeleceu nessa profundidade até setembro de 2015, quando as altas vazões do rio Itajaí-Açu assorearam bruscamente a região portuária, que agora opera com uma cota batimétrica de 12.4 m (PORTO DE ITAJAÍ, 2016).

A Figura 3 apresenta o histórico de volumes de dragagem para o Porto de Itajaí entre 1958 e 2011, apresentado pela Superintendência do Porto de Itajaí e obtido junto à ANTAQ (Agência Nacional de Transportes Aquaviários). A partir de 1999, a dragagem

de manutenção do Complexo Portuário de Itajaí foi realizada por meio do método de injeção de água, de modo que os volumes dispostos na tabela são estimados e não medidos a partir dos volumes em cisternas das dragas (AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS - ANTAQ, 2010 *apud* PION, 2017).



SUPERINTENDÊNCIA DO PORTO DE ITAJAÍ

HISTÓRICO DE DRAGAGENS NO PORTO DE ITAJAÍ - PERÍODO DE 1958 a 2011

Ano	Volume Dragado	Unid	Origem dos Recursos	Profundidade	Unid	Tolerância	Unid	Classificação	Obs:
1958	200.000,00	m³	Ministério dos Transportes	6.50	m	0.50	m	Manutenção	Canal Est
1971	120.989,00	m³	Ministério dos Transportes	6.00	m	0.50	m	Manutenção	Bacia
1971	174.100,00	m³	Ministério dos Transportes	6.00	m	0.50	m	Manutenção	Canal Int
1971	196.800,00	m³	Ministério dos Transportes	6.00	m	0.50	m	Manutenção	Canal Est
1972	1.034,00	m³	Ministério dos Transportes	6.00	m	0.50	m	Manutenção	Bacia
1972	45.000,00	m³	Ministério dos Transportes	6.00	m	0.50	m	Manutenção	Canal Int
1978	531.378,00	m³	Ministério dos Transportes	7.00	m	0.50	m	Aprofundamento	Canal Est
1978	396.164,00	m³	Ministério dos Transportes	7.00	m	0.50	m	Manutenção	Canal Int
1978	358.133,00	m³	Ministério dos Transportes	7.00	m	0.50	m	Manutenção	Bacia
1980	43.147,00	m³	Ministério dos Transportes	8.00	m	0.50	m	Aprofundamento	Canal Est
1980	232.772,00	m³	Ministério dos Transportes	8.00	m	0.50	m	Manutenção	Canal Int
1980	197.999,00	m³	Ministério dos Transportes	8.00	m	0.50	m	Manutenção	Bacia
1982	241.004,00	m³	Ministério dos Transportes	8.05	m	0.50	m	Aprofundamento	Bacia
1982	237.058,00	m³	Ministério dos Transportes	8.05	m	0.50	m	Manutenção	Canal Int
1982	106.573,00	m³	Ministério dos Transportes	8.05	m	0.50	m	Manutenção	Canal Est
1989	172.000,00	m³	Ministério dos Transportes	8.05	m	0.50	m	Manutenção	-
1990	1.596.694,00	m³	Ministério dos Transportes	8.10	m	0.50	m	Aprofundamento	-
1991	528.512,00	m³	Próprios	8.10	m	0.50	m	Aprofundamento	-
1992	842.610,97	m³	Próprios	8.10	m	0.50	m	Manutenção	-
1993	841.180,00	m³	Próprios	8.10	m	0.50	m	Manutenção	-
1994	53.927,00	m³	Próprios	8.10	m	0.50	m	Manutenção	-
1995	796.870,00	m³	Próprios	8.10	m	0.50	m	Manutenção	-
1996	2.250.000,00	m³	Próprios	8.15	m	0.50	m	Manutenção	-
1997	898.787,00	m³	Próprios	8.15	m	0.50	m	Manutenção	-
1998	1.500.000,00	m³	Próprios	9.15	m	0.50	m	Aprofundamento	-
1998	1.102.530,00	m³	Próprios	10.00	m	0.50	m	Manutenção e Aprofundamento	Man:1102530 Aprof:2177470
1999	1.234.345,21	m³	Próprios	10.00	m	0.50	m	Manutenção	Canal Est, Int e Bacia
2000	2.000.000,00	m³	Próprios	10.00	m	0.50	m	Manutenção	Canal Est, Int e Bacia
2001	1.870.000,00	m³	Próprios	10.00	m	0.50	m	Manutenção	Canal Est, Int e Bacia
2002	1.800.000,00	m³	Próprios	10.00	m	0.50	m	Manutenção	Canal Est, Int e Bacia
2003	1.893.750,00	m³	Próprios	10.00	m	0.50	m	Manutenção e Aprofundamento	Man:1800000 Aprof:93750
2004	1.850.430,04	m³	Próprios	10.00	m	0.50	m	Manutenção	Canal Est, Int e Bacia
2005	1.800.000,00	m³	Próprios	10.00	m	0.50	m	Manutenção	Canal Est, Int e Bacia
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
2007	2.000.000,00	m³	Próprios	11,00 e 12,00	m	0.30	m	Manutenção	Canal Est, Int e Bacia
2008	2.200.000,00	m³	Próprios	11,00 e 12,00	m	0.30	m	Manutenção	Canal Est, Int e Bacia
2009	3.500.000,00	m³	Secretaria de Portos e Próprios	10,50 e 11,30	m	0.30	m	restabelecimento de professoreamento das enchentes	próprios (manutenção): 1.000.000m² e SEP(restabelecimento): 2.500.000m²
2010	2.000.000,00	m³	Próprios	10,50 e 11,30	m	0.30	m	Manutenção	Canal Est, Int e Bacia
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): 350.000m², SEP(aprofundamento): 6.200.000m², SEP(restabelecimento): 1.650.000m²

Obs: Os volumes de dragagem de manutenção de 1999 a março 2011 são estimativos em função do método constante e contínuo de dragagem utilizado, conhecido como Injeção de Água.

Atualizado em 17/11/11

Figura 3 – Histórico de volumes de dragagem para o Porto de Itajaí entre 1958 e 2011. Fonte: Pion (2017).

Como o Porto de Itajaí está inserido no estuário do rio Itajaí, faremos a seguir uma descrição do ambiente.

2.2 Geologia regional

As rochas da bacia do Itajaí foram geradas nos estágios finais do Ciclo Brasileiro (Neoproterozóico) compreendendo uma sequência sedimentar de tratos de sistemas de nível baixo e transgressivos (SCHROEDER, 2006).

Está localizada no Escudo Catarinense, entre rochas de idade pré-cambriana (Figura 4), ao norte, encontram-se rochas do Complexo Granulítico de Santa Catarina; ao sul, a bacia faz contato com o Complexo Metamórfico Brusque; a oeste, encontram-se rochas da Bacia do Paraná e, a leste, a bacia está recoberta por sedimentos marinhos e fluviais do Quaternário (SCHROEDER, 2006).

- **Complexo Granulítico de Santa Catarina**

Compreende gnaisses de composição básica (teor de sílica varia de 52 a 45%), embora também ocorra anortositos, silimanita gnaiss, quartzitos e anfibolitos (SCHROEDER, 2006).

- **Complexo Metamórfico Brusque**

É uma extensa sequência metavulcano-sedimentar alongada segundo NE, composta por: metapelitos, metapsamitos e matacarbonáticas (SCHROEDER, 2006).

- **Bacia do Paraná**

A bacia do Paraná é uma ampla bacia sedimentar situada na porção centro-leste da América do Sul. A porção da bacia que se encontra sobre o estado de Santa Catarina e faz contato com a Bacia do Itajaí compreende rochas da formação Serra Geral, Grupo São Bento, a nordeste de Santa Catarina, onde se encontra um complexo magmático, principalmente derrames basálticos e basaltos – andesíticos. Rochas do grupo Itararé também são encontradas na região compreendendo diamictitos, argilitos, arenitos, conglomerados e ritmitos.

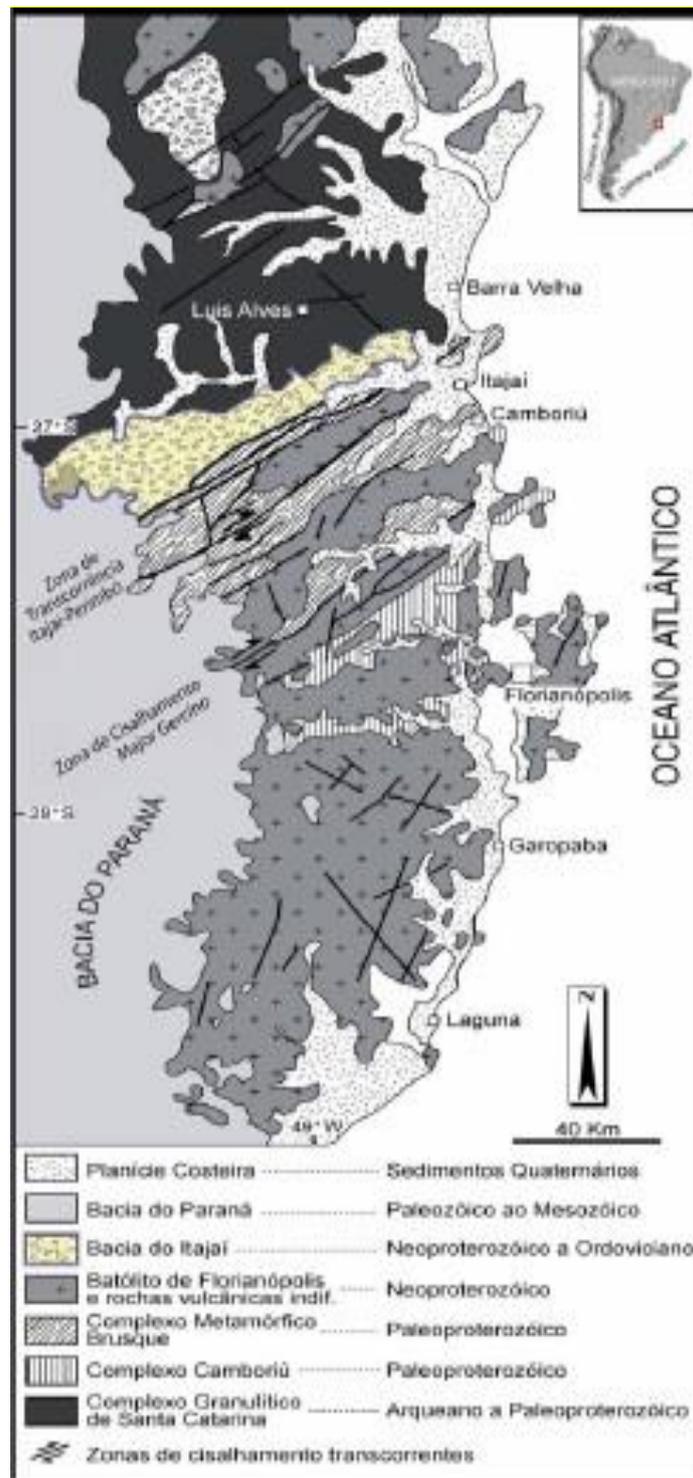
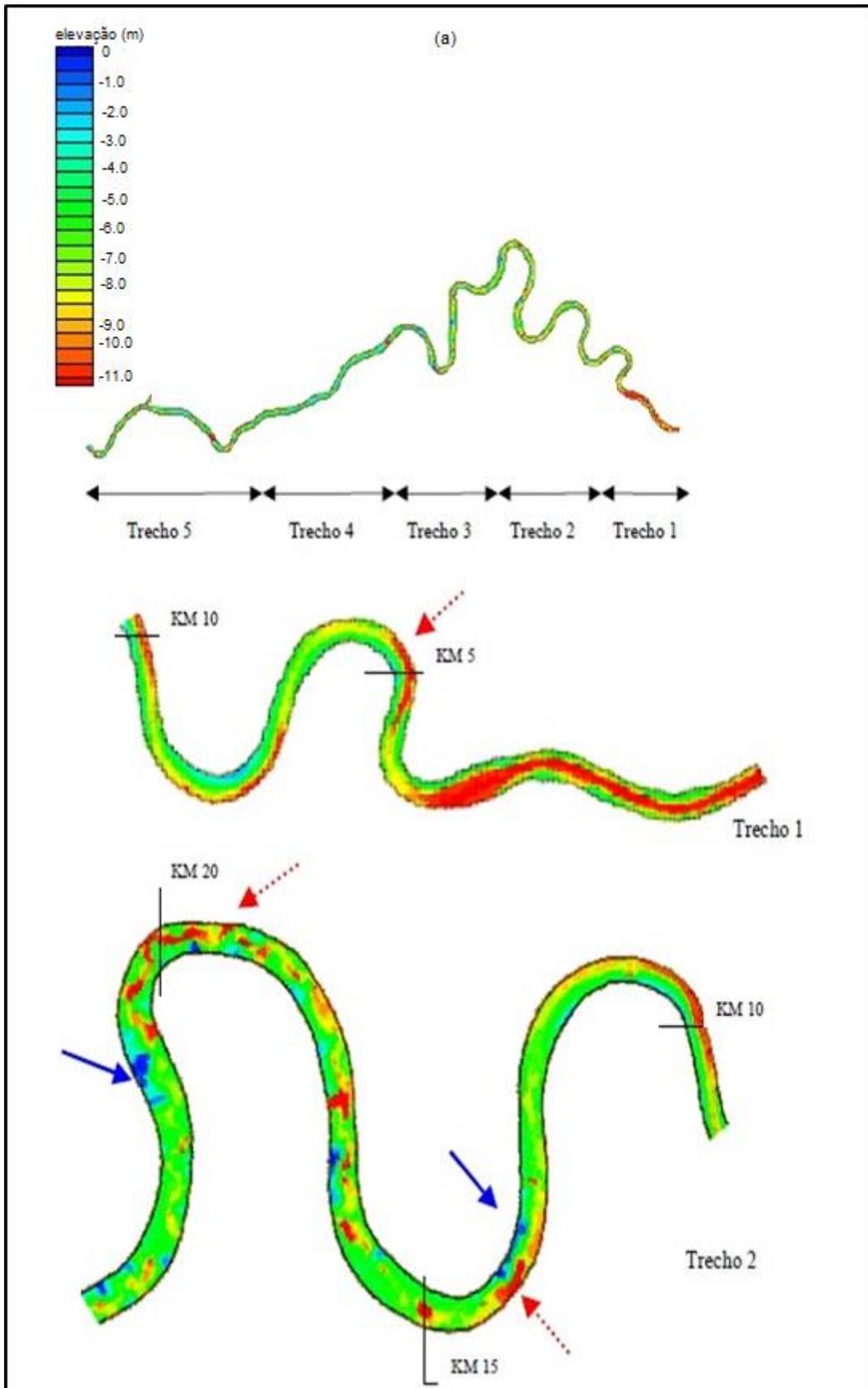


Figura 4 – Mapa geológico do Escudo Catarinense. (Modificado de Chemale Jr. *et al.* 2003). Fonte: Schroeder (2006).

2.3 Caracterização / fisiografia

O estuário apresenta uma extensão aproximada de 70km, com área de espelho de água estimada em 14km² (Figura 5). Até 20km a montante da desembocadura possui seis meandros com uma orientação noroeste-sudoeste, como pode ser visto na Figura 5a. A partir destes 20km para montante ainda observa-se meandros, porém não são tão simétricos quanto da desembocadura com orientação nordeste-sudoeste até a altura de Gaspar (Figura 5b). Deste ponto até Blumenau a orientação geral passa para leste-oeste. No trecho entre as cidades de Ilhota e Gaspar, a fisiografia do estuário é bastante retilínea, mantendo este padrão até proximidades de Blumenau, onde volta a ocorrer meandros, bem como as principais ilhas fluviais (SCHETTINI, 2002), como pode ser visto na Figura 5.

A largura do canal é relativamente uniforme ao longo de todo o estuário com um gradual aumento em direção à desembocadura variando de 100 a 300 m no total. Além disso, sua profundidade é de cerca de 2 a 15 m. Dados batimétricos de Schettini (2002), obtidos através de levantamentos realizados em um trecho de cerca de 50 km a partir da foz, permitiram avaliar a topografia de fundo do rio Itajaí-Açu (MEDEIROS, 2003), como pode ser observada na Figura 5.



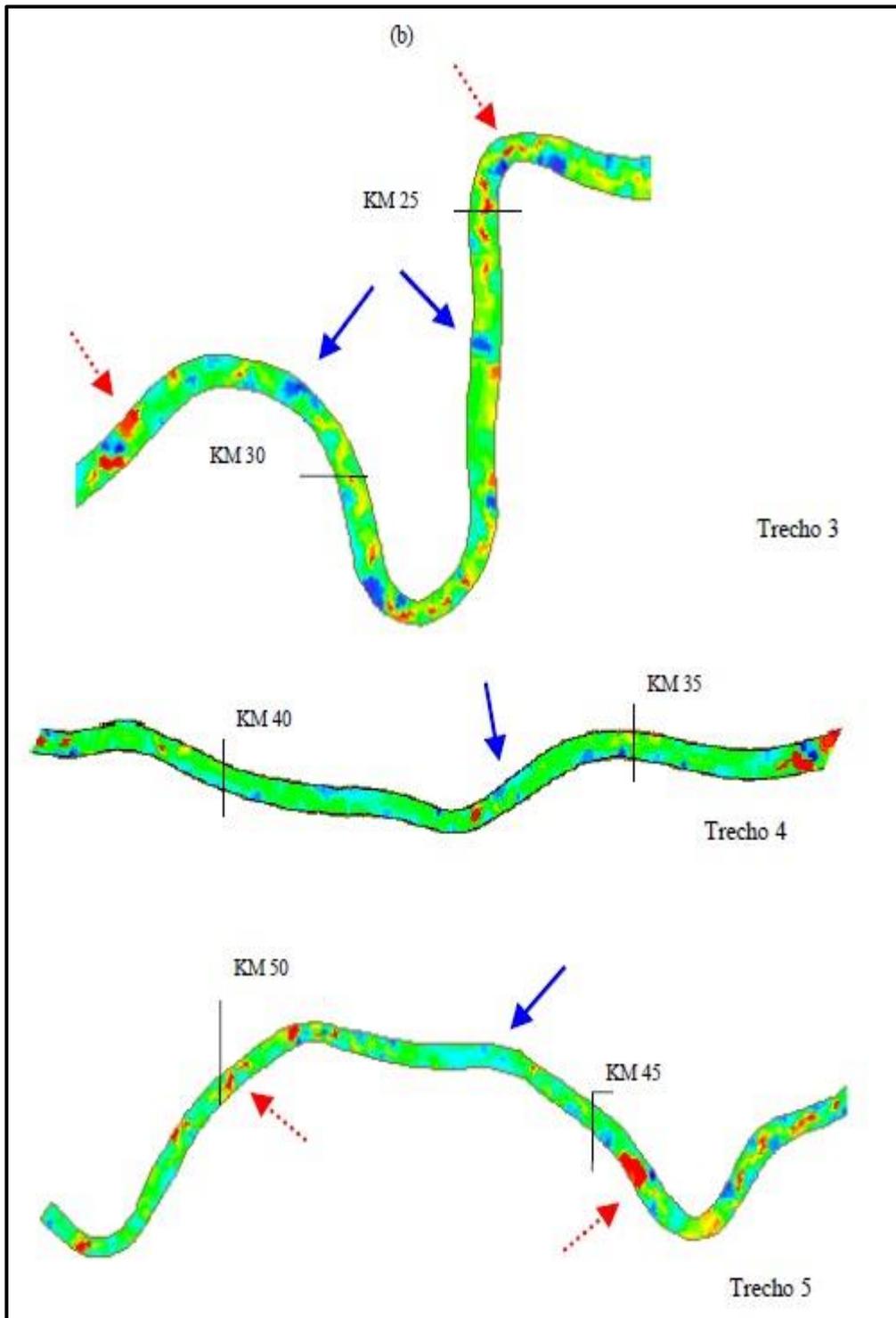


Figura 5a / 5b – Representação em planta da batimetria do estuário do rio Itajaí-Açu. Encontram-se representadas em (a) todo o trecho levantado e em detalhe os trechos 1 e 2. (b) em detalhe os trechos 3, 4 e 5. As principais depressões (setas vermelhas em linha pontilhada) e as principais soleiras (setas azuis em linha cheia) estão marcadas na figura, assim como referências a cada 5 km. *Fonte:* Medeiros (2003).

2.3.1 Características hidrológicas do estuário

Estuários são corpos de águas restritos onde ocorre a diluição mensurável da água marinha pela água doce proveniente da drenagem continental, tendo uma livre conexão com o mar aberto (CAMERON & PRITCHARD, 1963 *apud* SCHETTINI, 2002), e com seu limite continental definido como o limite dos efeitos da maré (FAIRBIRDGE, 1980).

O estuário em questão apresenta importância econômica, como já visto anteriormente, e, além disso, sua importância ecológica para a zona costeira regional também é importante, pois trata-se do maior sistema fluvial entre o sistema lagunar de Patos-Mirim no Rio Grande do Sul, 700km ao sul, e o rio Ribeira de Iguape em São Paulo, 300km ao norte (SCHETTINI, 2002).

A bacia hidrográfica abrange 47 municípios que totalizam uma população superior a um milhão de habitantes, principalmente nos centros urbanos, que estão situados nas 3 subregiões em que se divide a bacia: o Alto Vale, o Médio Vale e o Baixo Vale do rio Itajaí. A região do Alto Vale se caracteriza por ser uma região agrícola, já o Médio e o Baixo Vale do Itajaí se destacam por uma atividade industrial mais marcante além, ainda, da agricultura, sobretudo a rizicultura. Dentre os principais centros urbanos aí situados, destacam-se Blumenau, Brusque e Itajaí (SANTA CATARINA, 1997).

Recebendo o aporte de uma bacia de drenagem de 15.500km², que é considerada a maior bacia da Vertente Atlântica catarinense (Figura 6), a bacia do rio Itajaí está entre as outras duas maiores bacias da VA: a bacia do rio Itapocú, ao norte, e a bacia do rio Tijucas, ao sul, sendo as três bacias limitadas ao norte pela Serra do Mar, e a oeste e sul pela Serra Geral. Na Figura 7, pode ser observada a bacia do rio Itajaí em detalhe.

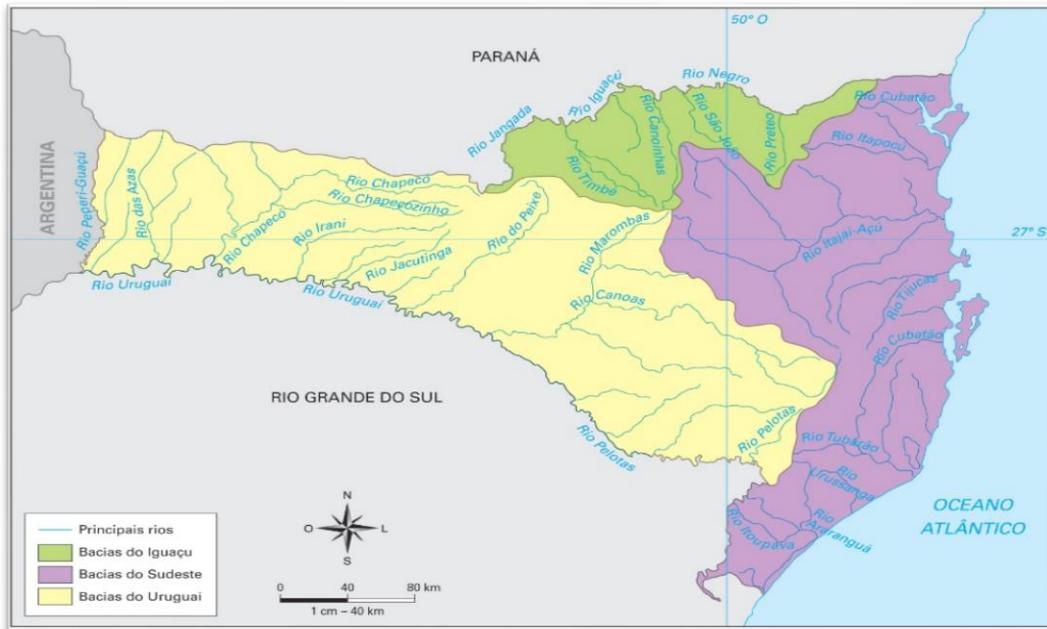


Figura 6 – Mapa das vertentes de Santa Catarina. *Fonte:* <<http://sanderlei.com.br/PT/Ensino-Fundamental/Santa-Catarina-Historia-Geografia-36>>

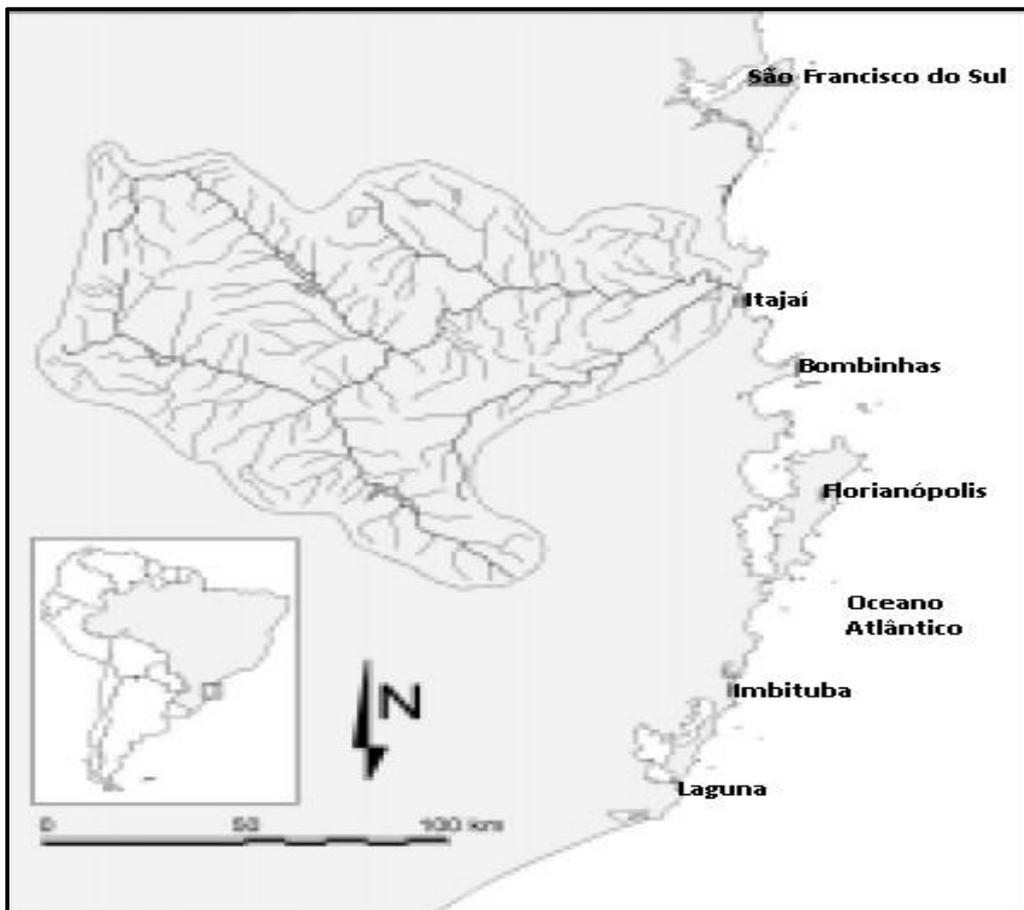


Figura 7 – Bacia do rio Itajaí-Açu no contexto da linha de costa de Santa Catarina. *Fonte:* Schettini (2002).

O regime de descarga fluvial atua como o maior controlador da dinâmica estuarina na região. O rio Itajaí-Açu é o responsável por 90% do aporte fluvial que chega ao estuário: ele é formado pela confluência do rio Itajaí do oeste e Itajaí do sul na altura de Rio do Sul.

A jusante na sua margem esquerda, seus afluentes são o rio Itajaí do Norte (divisa dos municípios de Lontras e Ibirama), o rio Benedito (município de Indaial) e o rio Luís Alves que é o mais próximo à desembocadura no município de Luís Alves. Já na margem direita o principal afluente é o rio Itajaí-Mirim (Latitude $-26^{\circ} 89' 33''$ S Longitude $-48^{\circ} 68' 20''$ W) que, junto com os afluentes já citados, contribui com os 10% restantes do aporte fluvial que chega ao estuário. Ele desemboca 8km da foz e a partir deste ponto o rio Itajaí-Açu passa a se chamar Itajaí (Figura 8).

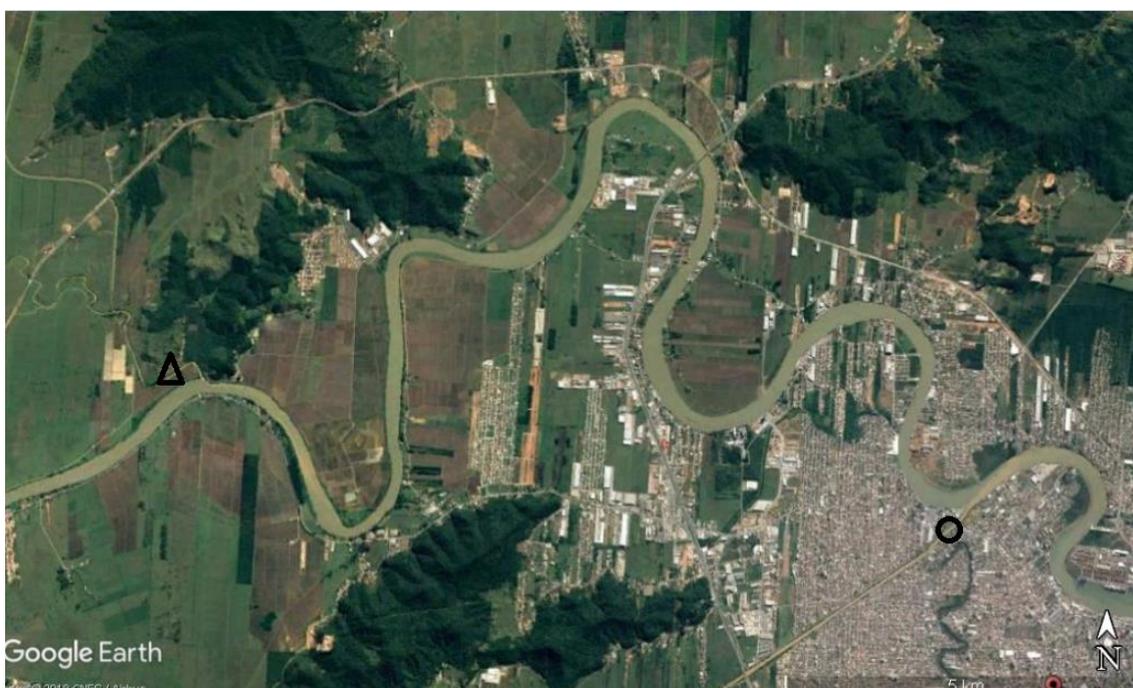


Figura 8 – Mapa ilustrando os rios Itajaí – Mirim (o) e Luís Alves(Δ) que deságuam ao longo do rio Itajaí-Açu.

2.3.2 Clima

O clima na região é classificado como mesotérmico úmido, com temperatura média anual de $21,8^{\circ}$ C. Os ventos de nordeste predominam durante todo o ano, com aumento de importância dos ventos provenientes do quadrante sul durante o inverno e primavera em função do aumento da frequência de frentes frias que passam por Santa Catarina

(TRUCCOLO,1998). Dados de 1996 mostram que a velocidade dos ventos na região varia de 2,5m/s a 7,5m/s.

A precipitação e evapotranspiração média anual da região estão entre 1400 e 1080 mm, com chuvas bem distribuídas durante todo o ano e resultando em um superávit hídrico médio de 336 mm (GAPLAN, 1986).

Nas estações mais quentes, as chuvas são mais intensas, mas de baixa duração. E nas estações mais frias, as chuvas são menos intensas, porém mais duradouras, sendo comum chover por duas semanas consecutivas. Há ainda casos mais extremos, como na enchente de 2008 (Figura 9), em que choveu quase diariamente ao longo de 2 meses (MEMORIAL GLOBO, 2015).



Figura 9 – Área inundada no município de Itajaí durante a enchente de 2008, representada pela mancha em azul. (Fonte: DEFESA CIVIL DE ITAJAÍ *apud* FACHI, 2016).

2.3.3 Hidrodinâmica costeira

A velocidade das correntes no estuário varia de acordo a localização: na desembocadura, por exemplo, possui média de 0,42 m/s; na bacia de evolução ela diminui, e a média fica em torno de 0,35 m/s; já no meandro situado a montante da bacia de evolução, a velocidade média é de 0,55 m/s, como pode ser observado na Figura 10. A velocidade média máxima de corrente registrada é de 0,8 m/s, durante a maré vazante, e a correnteza do rio fica em torno de 0,5 m/s (LABTRANS, 2015).



Figura 10 – Velocidade das correntes ao longo do estuário do rio Itajaí de acordo com o Plano Mestre de Itajaí (2015).

Ao relacionar as variações de níveis de água com as variações de velocidades das correntes, como ilustrado na Figura 11 e na Figura 12, observa-se que a propagação da maré no estuário é estacionária. Na estação do Porto, por exemplo, os picos da preamar e baixamar coincidem ou ficam muito próximos das velocidades nulas, enquanto que, na meia maré vazante e meia maré enchente, também coincidem ou ficam próximos das maiores velocidades das correntes. Isso ocorre tanto na quadratura quanto na sizígia, embora na sizígia essa característica seja mais nítida pela maior duração entre as marés enchente e vazante (predominância da maré semidiurna). Na estação do médio

estuário, a maré continua sendo estacionária com uma diferença de fase que varia cerca de 30 minutos nas preamares, meia maré vazante e meia maré enchente, a 1h nas baixa-mares (FACHI, 2016).

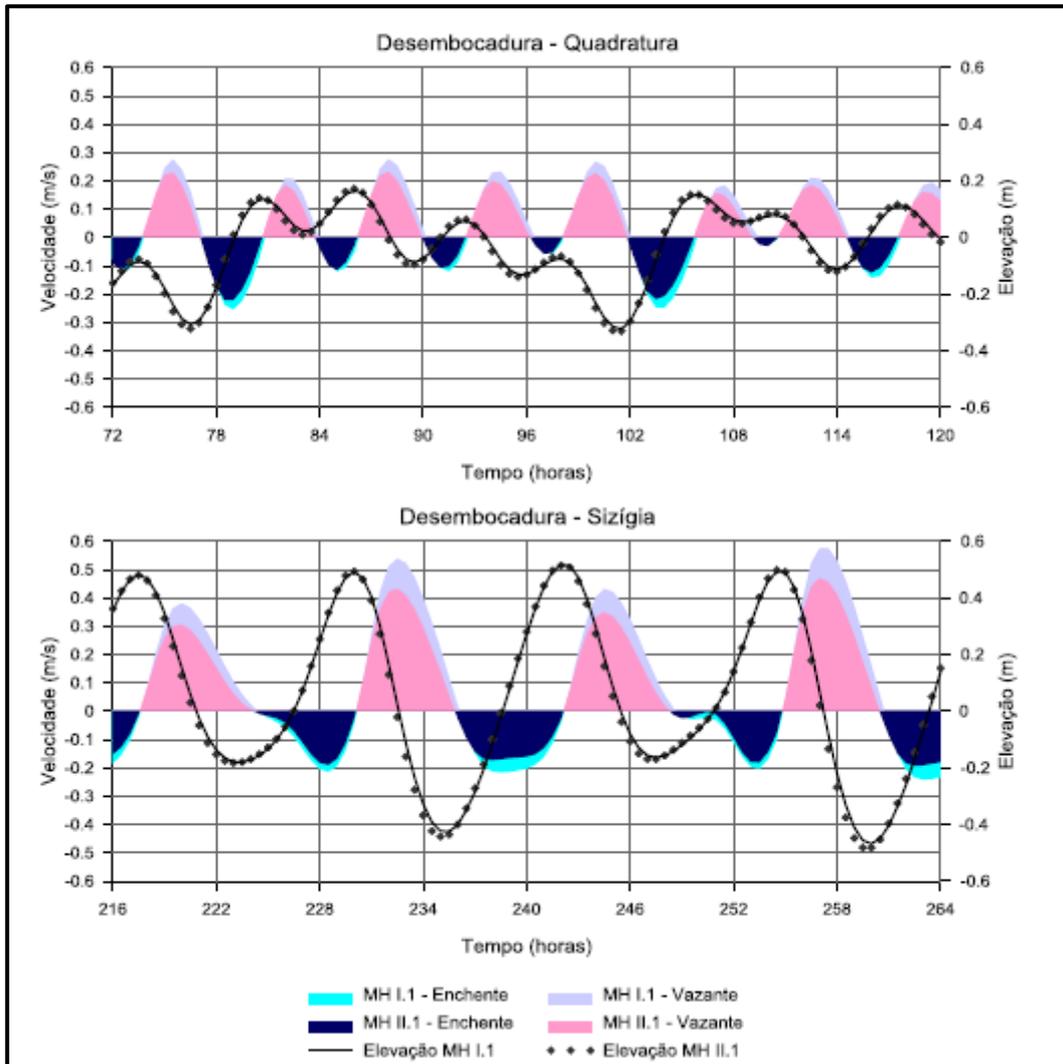


Figura 11 – Variações de níveis de água e velocidades das correntes durante um período de quadratura e sизία medida na desembocadura do rio. Observa-se que quase não há diferenças de níveis entre os cenários MH I.1 (análise no ano de 2009, em baixa profundidade) e MH II.1 (análise no ano de 2014, em alta profundidade) com uma diferença pouco mais acentuada nas baixa-mares. As diferenças nas velocidades entre os cenários são menores que nas estações mais a jusante, e o MH II.1 apresentou velocidades de maior intensidade em alguns momentos. A maré é estacionária porque as preamares e baixa-mares, por exemplo, ocorrem próximos das estofas de maré enchente e vazante, respectivamente. Fonte: Fachi (2016).

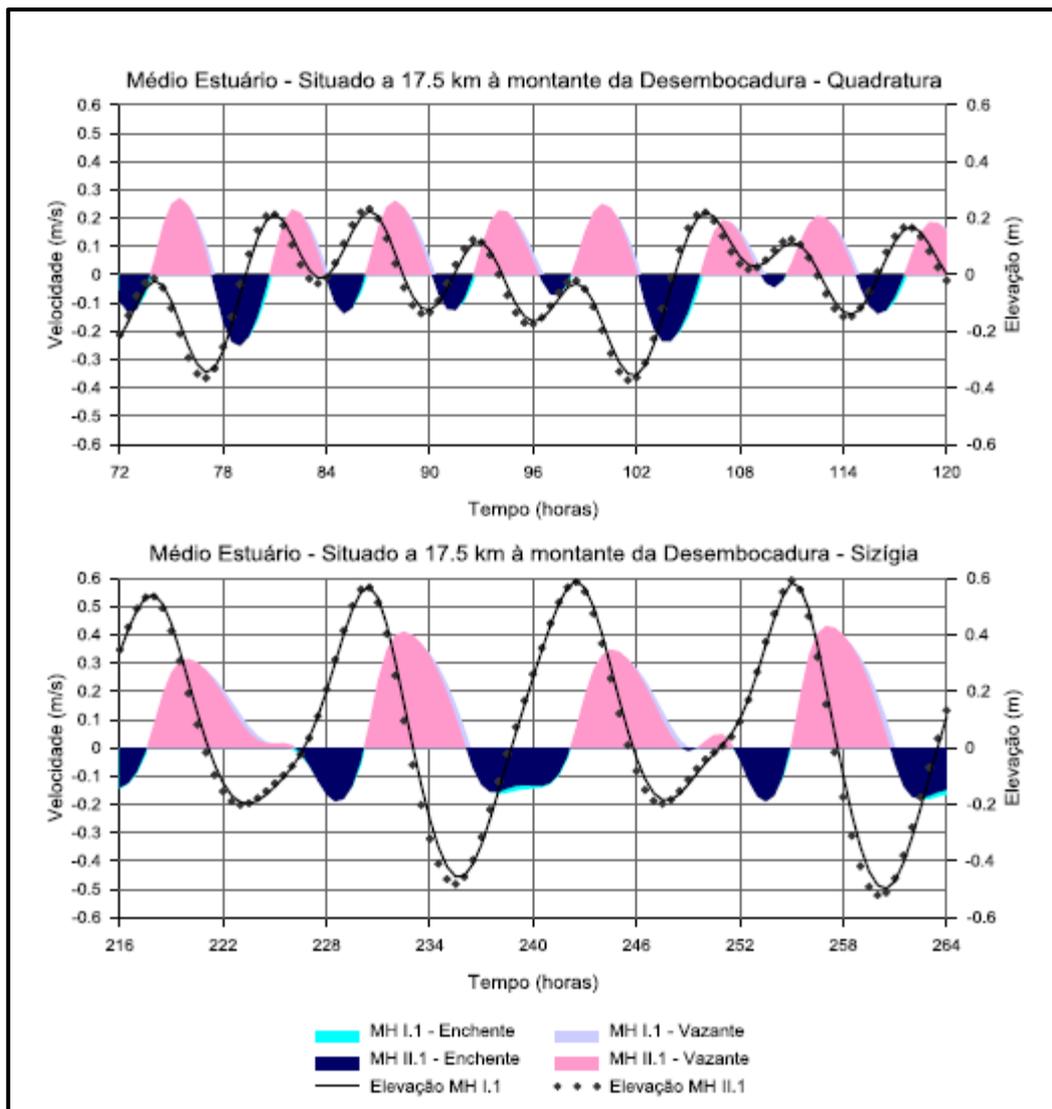


Figura 12 – Variações de níveis de água e velocidades das correntes durante um período de quadratura e sizígia medida no médio estuário. Observa-se que quase não há diferenças de níveis entre os cenários MH I.1 (análise no ano de 2009, em baixa profundidade) e MH II.1 (análise no ano de 2014, em alta profundidade) com uma diferença pouco mais acentuada nas baixa-mares. As diferenças nas velocidades entre os cenários são menores que nas estações mais a jusante, e o MH II.1 apresentou velocidades de maior intensidade em alguns momentos. A maré é estacionária porque as preamares e baixa-mares, por exemplo, ocorrem próximos das estofas de maré enchente e vazante, respectivamente. *Fonte:* Fachi (2016).

Outro fator importante a ser observado na região é a dominância das correntes de vazante. As Figuras 11 e 12 permitem determinar, por exemplo, uma relação de velocidade de 0,02 m/s entre o pico de vazante e enchente na região da desembocadura durante o período de quadratura, e o aumento desta relação para 0,2 m/s nos períodos de sizígia. A mesma relação se mantém na região do médio estuário.

Schettini (2002) analisou uma série temporal de descarga líquida diária entre os anos de 1934 e 1998 na região do médio estuário. A partir daí foi encontrada uma descarga diária média de 228 m³/s, sendo que mínima medida foi de 17 m³/s e máxima de 5.390 m³/s. Também encontrou dois picos de vazão máxima mensal, um em fevereiro (285 m³/s) e outro em outubro (309 m³/s) e dois picos de vazão mínima mensal, um em abril (164 m³/s) e outro em dezembro (185 m³/s).

No geral, a vazão média anual no estuário do rio Itajaí-Açu é de cerca de 3276 m³/s, com vazão média mínima anual de 1464 m³/s e vazão média máxima anual de 5700 m³/s. As vazões, como reflexo das chuvas, apresentam variação sazonal, assim como variações anuais e interdecadais. Como exemplos, a forte estiagem que ocorreu no verão de 2005/2006, e os eventos de alta descarga fluvial que causaram enchentes nos anos de 1983, 1984, 2008, 2011 entre outros (FACHI, 2016).

A duração de uma onda de cheia é em média de 10 dias, como apresentado na Figura 13, mas o período de inundação é menor e varia de acordo com o tamanho da seção hidráulica do local e da cota de alagamento em ambas as margens dos rios.

Há eventos também de alta vazão, mas que não causam enchente. Entretanto, as velocidades na região portuária ficam tão altas que as operações portuárias chegam a ser interrompidas, gerando grandes prejuízos econômicos. Nesses eventos, também é comum eventos de assoreamento na bacia de evolução e no canal de navegação, sendo necessárias dragagens emergenciais de aprofundamento (FACHI, 2016).

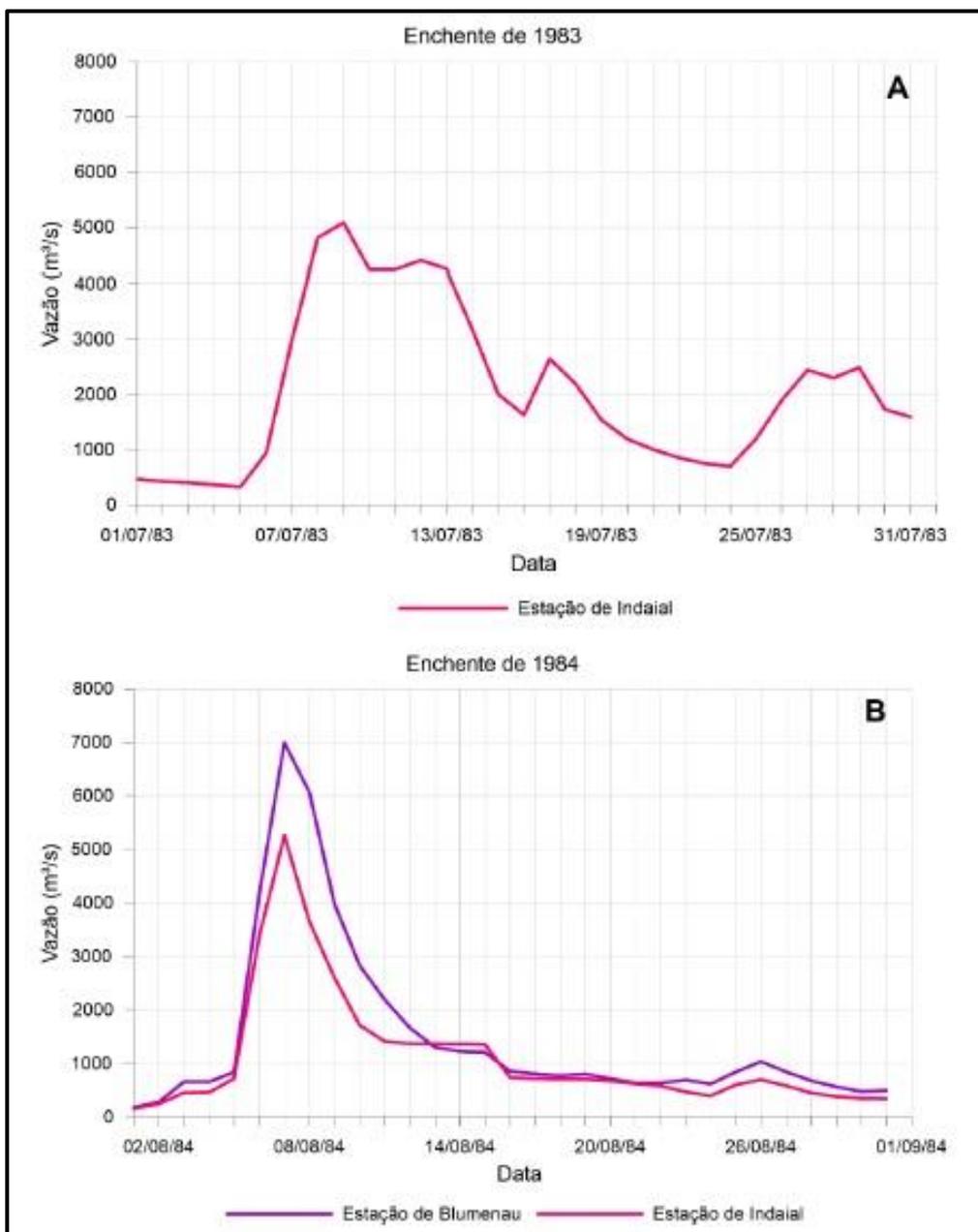


Figura 13 – Duração das ondas de cheias, nas estações de Indaial e Blumenau nas enchentes de 1983 (A) e 1984 (B). Não havia dados disponíveis durante a enchente de 1983 na estação de Blumenau. A estação de Indaial se localiza cerca de 20 km à jusante da estação de Blumenau. (Hidrogramas obtidos em <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>, acessado em 15/06/2016 *apud* FACHI, 2016).

Em setembro de 2015, o canal de acesso ao porto ficou fechado total ou parcialmente por mais de 15 dias, pois as velocidades no canal ficaram muito altas. E, ao longo do ano, isso ocorreu mais de 40 vezes. Além disso, a profundidade máxima do rio passou de 14 m para 12,4 m (PION, 2017).

2.3.4 Forçantes oceânicas

Como já dito anteriormente, a descarga fluvial é o principal fator que influencia na hidrodinâmica estuarina em questão, porém a região recebe também influências tanto da maré astronômica quanto da maré meteorológica.

- Maré Astronômica

A maré astronômica na região do porto é classificada como micromaré mista com predominância semidiurna. A altura média da maré na desembocadura do estuário é de 0,8 m, com mínimas de 0,3 m durante períodos de quadratura e 1,2 m durante períodos de sizígia (SCHETTINI, 2002).

A Femar (2016) fornece, para o Porto de Itajaí, 32 constantes harmônicas selecionadas para previsão da variação do nível, conforme Figura 14, classificando a maré da região como de desigualdades diurnas. O nível médio observado para o marégrafo foi de 0,57 m, sendo que a média das preamares superiores é de 1,07 m e a média das baixa-mares inferiores é de 0,15m. A soma das amplitudes de todas as constituintes resulta em 1,2 m (PION, 2017).

Nome da Estação :		ITAJAÍ (PORTO) – SC			
Localização :		No trapiche de atracação do antigo Escritório do DNPRC			
Organ. Responsável :		INPH / DHN			
Latitude :		25° 54,2' S	Longitude : 48° 34,6' W		
Período Analisado :		31/03/60 a 23/03/61	Nº de Componentes : 32		
Análise Harmônica :		Método Tidal Liverpool Institute			
Classificação :		Maré de Desigualdades Diurnas			
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		II H 02 min	Nível Médio (Zo):		57 cm acima do NR.
Média das Preamares Superiores (MHHW) :		107 cm acima do NR.	Média das Preamares Inferiores (MLHW) :		85 cm acima do NR
Média das Baixa-mares Superiores (MHLW) :		21 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares Inferiores (MLLW) :		15 cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	4,2	056	MU ₂	1,5	117
Ssa	5,2	092	N ₂	4,3	146
Mm	1,9	045	NU ₂	0,6	187
Mf	6,1	170	M ₂	23,2	069
MTM	-	-	L ₂	1,7	075
Msf	4,3	276	T ₂	0,4	234
Q ₁	3,2	053	S ₂	15,7	066
O ₁	10,4	077	K ₂	5,2	060
M ₁	0,5	242	MO ₃	2,8	336
P ₁	2,1	127	M ₃	4,2	176
K ₁	6,1	137	MK ₃	1,6	076
J ₁	0,2	137	MN ₄	2,4	067
OO ₁	0,3	073	M ₄	5,7	116
MNS ₂	0,4	091	SN ₄	0,5	141
2N ₂	1,4	132	MS ₄	3,9	205
Referências de Nível: RN-1 fixada no início do trapiche, na parte de cimento.					
Obs: Outros períodos : 01/01/29 a 05/01/30; 01/09/56 a 02/10/56; 01/04/91 a 01/05/91. Existem no INPH registros de 1922 até 1988 Consta das Tábuas das Marés					
Código BNDO: 60230					

Figura 14 – Constantes harmônicas - Porto de Itajaí. Fonte: Femar (2016) apud Pion (2017).

- **Maré Meteorológica**

A variação no nível do mar decorrente da maré astronômica é influenciada sobremaneira por forçantes meteorológicas locais e remotas (SCHETTINI, 2002). Foi observado por Truccolo *et al* (2006) que as marés meteorológicas podem representar cerca de 25% da variabilidade do nível do mar na costa de Santa Catarina, o que pode representar uma média de 0,3 m em períodos de ressaca. Destaca-se, também, conforme observado por Schettini & Truccolo (2009), que eventos extremos de vazão fluvial podem alterar significativamente o registro de nível d'água nas proximidades do Complexo Portuário de Itajaí (PION, 2017).

2.3.5 Ondas

As ondas que atingem a região do porto são de direção nordeste e leste. Entretanto, as de sul ainda agem principalmente nas frentes frias vindas da Argentina, mesmo que em menor quantidade (LABTRANS, 2015).

Devido à fisiografia sinuosa do estuário, há trechos alinhados com os ventos predominantes na região formando pistas, ainda que limitadas, para formação de ondas de alta frequência. Em condições críticas, tais ondas podem alcançar até 0,5 m de altura, e quando ocorrem no sentido oposto ao escoamento, podem inclusive colapsar. (SCHETTINI, 2002).

As ondulações praticamente não interferem na dinâmica do estuário, uma vez que o canal de entrada se encontra totalmente retificado e estreito, agindo como um filtro para ondas de alta frequência. Contudo, ondas de tempestade certamente desempenham um papel importante na dinâmica dos bancos de areia ao longo da barra (SCHETTINI, 2002).

2.3.6 Salinidade

A região é considerada como ambiente salobro, e sua salinidade varia entre extremos, dependendo da influência: quando a forçante de maré é maior e há períodos prolongados de baixa descarga fluvial, como de 60 dias, a salinidade chega até 34,2; porém quando a forçante do rio Itajaí-Açu é maior, a salinidade baixa drasticamente, chegando a até 4,9 (LABTRANS, 2015).

Segundo a classificação de Pritchard (1955), o estuário foi classificado como do tipo cunha salina. Estudos realizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH) demonstraram que a penetração de água salgada para o interior da bacia estuarina varia ao longo do tempo de acordo com a variação do regime de descarga fluvial. Em condições de descarga em torno de 300 m³/s, a penetração de água marinha alcança aproximadamente 18 km a montante da barra. Com o aumento da descarga para valores superiores a 1.000 m³/s, a água salgada é totalmente expulsa da bacia estuarina (DOBEREINER, 1985 *apud* SCHETTINI, 2002).

Medeiros (2003) observou, em perfis de salinidade medidos em campo no ano de 1999, que a intrusão salina, considerando vazão fluvial da ordem de 150m³/s, penetra no estuário até cerca de 20 km em marés de sizígia, e até aproximadamente 26 km em marés de quadratura. A bacia de evolução do Complexo Portuário do Itajaí encontra-se a aproximadamente 3,5 km da embocadura. Nesta região, para os mesmos dados observados por Medeiros (2003), a salinidade próxima ao fundo é de 3 ppt para ambas as condições. Já a salinidade mais próxima à superfície varia conforme a maré, de zero a aproximadamente 10 ppt (PION, 2017).

Portanto, é importante ressaltar que o estuário possui uma estratificação vertical, que vai variar de acordo com a forçante de maré e a forçante do rio. Porém, de maneira geral, possuirá sempre um caráter mais salino com o aumento da profundidade.

2.3.7 Características dos sedimentos

De acordo com Schettini (2002), o fundo do estuário é predominantemente composto por depósitos argilosos, sendo que a fração argila é superior a 70%, com traços de areia e silte.

Segundo Döbereiner (1986), até uma distância de 7 km da barra o material de fundo é predominantemente composto por argila, como pode ser observado na Figura 15 (PION, 2017), obedecendo a processos sedimentares coesivos de transporte e sedimentação.

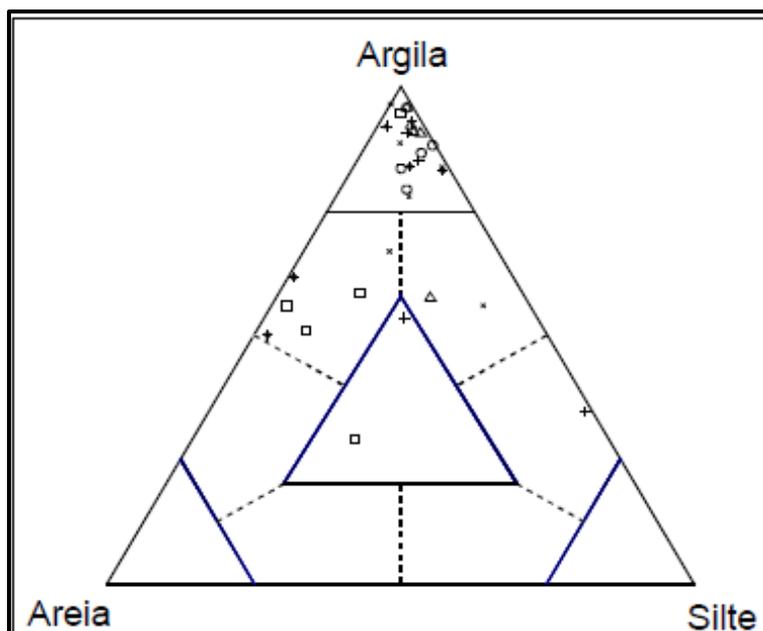


Figura 15 – Diagrama de Shepard com a classificação das amostras de sedimento de fundo do rio Itajaí-Açu ao longo do canal até 7 km a montante da barra. Sinais diferentes representam diferentes campanhas de coleta. *Fonte:* Schettini (2002).

A concentração dos sedimentos em suspensão observada varia em função das condições de descarga fluvial, como pode ser observado na Figura 16, podendo ser tão baixa quanto 7 mg/l durante longos períodos de baixa descarga, ou superiores a 500 mg/l durante extremos de descarga, por exemplo 1000 m³/s (SCHETTINI, 2002).

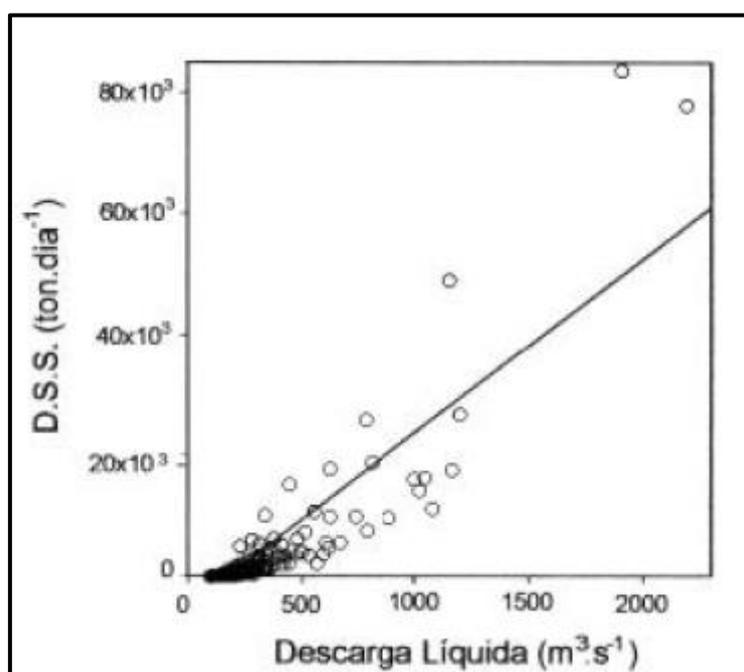


Figura 16 – Relação entre descarga sólida em suspensão com a descarga líquida do rio Itajaí-Açu na estação limnimétrica de Indaial. *Fonte:* Schettini (2002).

Utilizando-se as séries históricas das vazões médias diárias e as equações das curvas chave de sedimentos, foram determinadas as produções médias anuais de sedimentos nas sub-bacias contribuintes das estações fluviométricas de Indaial, Blumenau, Timbó e Brusque. Os valores de produção específica de sedimentos, para os períodos 1980-1989 e 1990-1999, são apresentados na Tabela I. A produção específica média de sedimentos nas sub-bacias variou entre 0,15 e 3,32 ton/ha/ano.

TABELA I - Produção específica de sedimentos

Estação	Área (km ²)	Produção média de sedimentos (ton/ha/ano)	
		1980-1989	1990-1999
Brusque	1240	1,21	1,38
Indaial	11.151	1,45	1,27
Blumenau	11.803	2,94	3,32
Timbó	1342	0,44	0,15

Fonte: Pinheiro *et al* (2002).

A principal fonte de sedimentos para o estuário do rio Itajaí-Açu é a drenagem através da descarga sólida por suspensão de sedimentos finos e a tração e saltação de sedimentos arenosos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Ambiente estuarino e sua relação com depósitos sedimentares

Os estuários são feições de transição entre o oceano e o continente, onde ocorre a mistura da água doce do aporte fluvial, junto com sua descarga de material, com a água salgada do mar e as forçantes oceanográficas da costa adjacente (PRANDLE, 2009).

Segundo Milliman & Emery (1968), grande parte dos estuários é o produto da inundação de vales fluviais devido à transgressão marinha no Holoceno, que se seguiu ao fim da última grande glaciação há cerca de 18.000 anos. A partir daí, estes locais vêm sendo constantemente preenchidos por sedimentos. O transporte de sedimentos e a contribuição relativa das partículas de origem continental e/ou marinha podem variar em escalas espaciais e temporais, pois estão condicionados aos padrões de aporte de água doce (variabilidades sazonais e interanuais), que afetam diretamente a circulação estuarina (UNCLES *et al.*, 1994; UNCLES *et al.*, 1998; EYRE *et al.*, 1998; WOLANSKI & SPAGNOL, 2003).

Segundo Kjerfve (1987), um estuário pode ser dividido em três zonas distintas, como pode ser observado na Figura 17, sendo levados em consideração a gênese geológica e os processos regionais que contribuem para a formação desses ambientes:

1 – Zona de Maré do Rio (ZR) – porção fluvial com salinidade próxima a zero, porém ainda sujeita à ação da maré;

2 – Zona de Mistura (ZM) – região onde ocorre a mistura da água doce oriunda do aporte fluvial com a água do mar, sendo considerado o estuário propriamente dito. Nesta zona há também uma acentuada variação vertical e longitudinal da salinidade e das velocidades de correntes no estuário;

3 – Zona Costeira (ZC) – região costeira adjacente que se estende até a frente da pluma estuarina de maré vazante, cuja extensão delimita a Camada Limite Costeira (CLC). O regime de marés e de ondas da ZC condiciona a circulação do sistema estuarino.

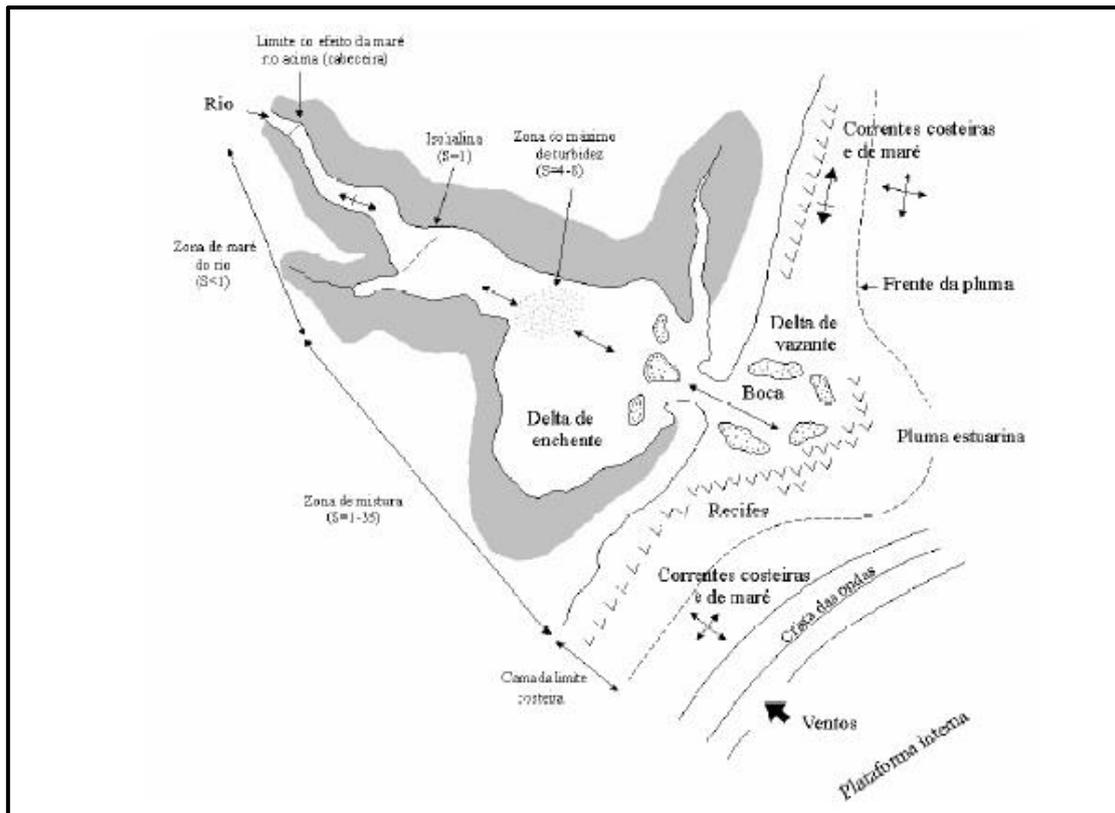


Figura 17 – Regiões funcionais de um estuário hipotético. Características geomorfológicas e processos na zona de maré do rio (ZR), zona de mistura (ZM) e zona costeira (ZC). *Fonte: Miranda et al (2002).*

As características sedimentológicas de um estuário são determinadas principalmente pela(s) área(s) fonte(s) de sedimentos. Os sedimentos de origem continental, transportados pelos rios, são originados dos processos de intemperismo das rochas, erosão e lixiviação do solo. A composição mineral dos sedimentos depende essencialmente da constituição da rocha-mãe, enquanto que a granulometria do material depende principalmente da distância da área fonte e da resistência do mineral ao desgaste provocado pelo atrito durante os processos de transporte (GIANNINI & RICCOMINI, 2000).

Até a metade do século XIX, a influência da atividade do homem sobre os estuários não era reconhecida como importante, e os principais impactos estavam limitados às descargas de efluentes domésticos, juntamente à erosão nas áreas agrícolas, que ocasionavam um maior transporte de sedimento para os rios. Este quadro passou a ser modificado a partir de meados do século XX, quando houve uma enorme expansão das atividades em complexos industriais instalados próximos aos estuários (MIRANDA ET AL, 2002).

O impacto ambiental causado pelo aporte das atividades humanas depende do tipo e quantidade de substâncias presentes, as quais estão relacionadas ao tipo de atividade da bacia de drenagem. Regiões com alta densidade populacional estão continuamente lançando matéria orgânica e nutriente para seus corpos d'água. Regiões industriais lançam metais pesados, hidrocarbonetos e matéria orgânica. A atividade agrícola também contribui com a entrada de diversos compostos para os corpos aquáticos, como fertilizantes (ricos em nutrientes), pesticidas e herbicidas (RIBEIRO, 1996).

3.2 Transporte de sedimentos

Segundo Gao *et al.* (1994), o termo “transporte de sedimentos” refere-se a qualquer taxa líquida de transporte de sedimentos, incluindo a magnitude e a direção. Em outras palavras, representa o vetor médio de uma taxa instantânea de transporte em um determinado local ou a dispersão de uma parcela específica de sedimento. De acordo com estes autores, qualquer tendência de transporte de sedimentos que possui uma probabilidade significativamente mais alta na direção do transporte líquido do que em qualquer outra direção contém informações sobre este, e pode ser usado para determinar um padrão de transporte.

O limiar de transporte de sedimentos é definido, para fins práticos, como o início do movimento de sedimentos e é identificado usando algum tipo de critério de "movimento crítico". Vários critérios foram citados na literatura, tais como: "movimento fraco" (KRAMER, 1935); "Quando o primeiro movimento descendente de grãos se torna perceptível" (CHEPIL, 1959); “Movimento crítico ou incipiente” (SHIELDS, 1965); "Condições para que uma pedra simples seja deslocada" (NEILL, 1967); "Movimento de partículas dispersas" (RATHBURN & GUY, 1967); E "movimento intermitente" (COLLINS & RIGLER, 1982). Outras tentativas definiram analiticamente o número de movimentos de grãos, de um dado tamanho, que representavam um critério de limiar consistente e reprodutível (NEILL & YALIN, 1969; YALIN, 1972; PAPHITSET *et al.*, 2014).

Baseando-se no conceito da tensão crítica de arrastamento, segundo Shields (1965), a caracterização do movimento incipiente parte do princípio de que as partículas da superfície do fundo de um canal estão sujeitas à ação de forças hidrodinâmicas, devido ao escoamento, à ação de forças resistentes e ao peso submerso das partículas.

Então, as forças de escoamento induzem ao movimento, enquanto a força normal, com a superfície de fundo, induz à resistência ao movimento. Deste modo, uma partícula entra em movimento quando as ações desestabilizadoras superam as ações resistentes.

Russel (1939 *apud* GAO, 1996) identificou três dos mecanismos responsáveis pela formação de tendências granulométricas: 1) abrasão das partículas sedimentares; 2) seleção hidráulica ou transporte diferencial e 3) mistura de materiais de diferentes fontes. Assim, as investigações acerca da relação entre tendências granulométricas e transporte sedimentar abriram a possibilidade da utilização destas na inferência do padrão de transporte de sedimento (GAO, 1996). Os estudos da tendência granulométrica mostram que os parâmetros granulométricos (média, seleção e assimetria) de um depósito sedimentar são dependentes da distribuição granulométrica do sedimento de sua fonte e dos processos sedimentares.

Os processos físicos que ocorrem junto ao fundo são os de maior significância em termos de transporte de sedimento (CARMO, 2006). Leeder (1982) definiu que o fluido no qual o sedimento está presente exerce basicamente duas forças no grão: a força de arrasto, devido ao gradiente da velocidade do fluxo, que tende a mover a partícula no plano horizontal, e a força de empuxo, que tende a mover o grão no sentido vertical.

3.3 Análise granulométrica

Na natureza encontram-se depósitos sedimentares constituídos por elementos com decímetros a metros de diâmetro (como nas morainas), até sedimentos compostos por partículas extremamente pequenas, da ordem de alguns micra (como se verifica nas argilas). Por vezes, a heterogeneidade da dimensão das partículas que constituem um depósito é elevada, coexistindo elementos com metros de diâmetro numa matriz de partículas pequenas, como nos depósitos formados por alguns fluxos detríticos (DIAS, 2004). A análise das dimensões das partículas é importante, pois permite deduzir indicações preciosas sobre a proveniência, o transporte, os ambientes deposicionais, entre outras.

A análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras, presumivelmente representativas dos sedimentos, e no tratamento estatístico dessa informação. Esta análise determina as dimensões das

partículas individuais e estuda a sua distribuição pelo peso de cada classe dimensional considerada, pelo seu volume, ou ainda pelo número de partículas integradas em cada classe. Neste sentido, quanto menor for a amplitude das classes, melhor é a descrição da variabilidade dimensional das partículas que constituem o sedimento (DIAS, 2004).

O resultado das análises de distribuição granulométrica do material pode ser representado de duas formas, como observado nas Figuras 18 e 19. Na curva simples, os volumes referentes de cada classe granulométrica representam uma porcentagem individual de cada intervalo de diâmetro; já a curva cumulativa representa o somatório dos volumes anteriores até o volume referente à última classe.

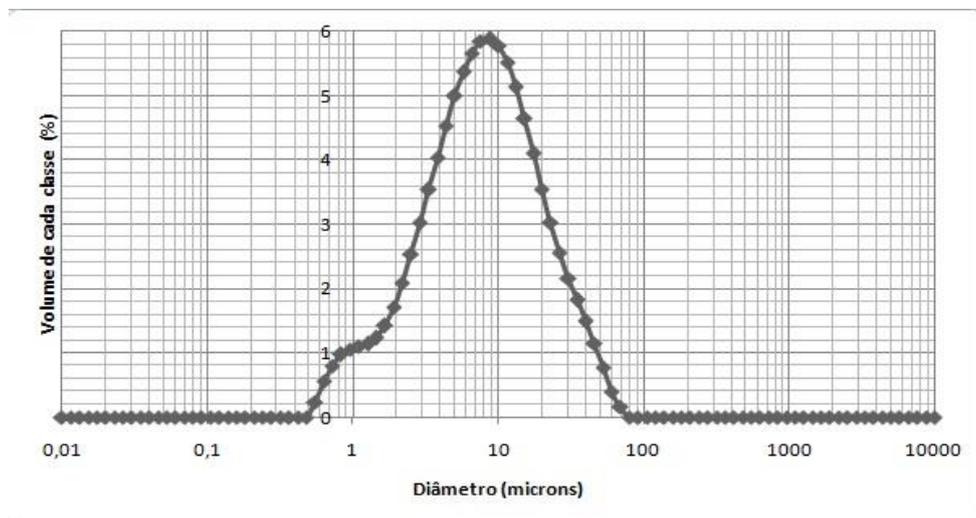


Figura 18 – Curva de frequência simples. Distribuição da amostra 49 do presente trabalho.

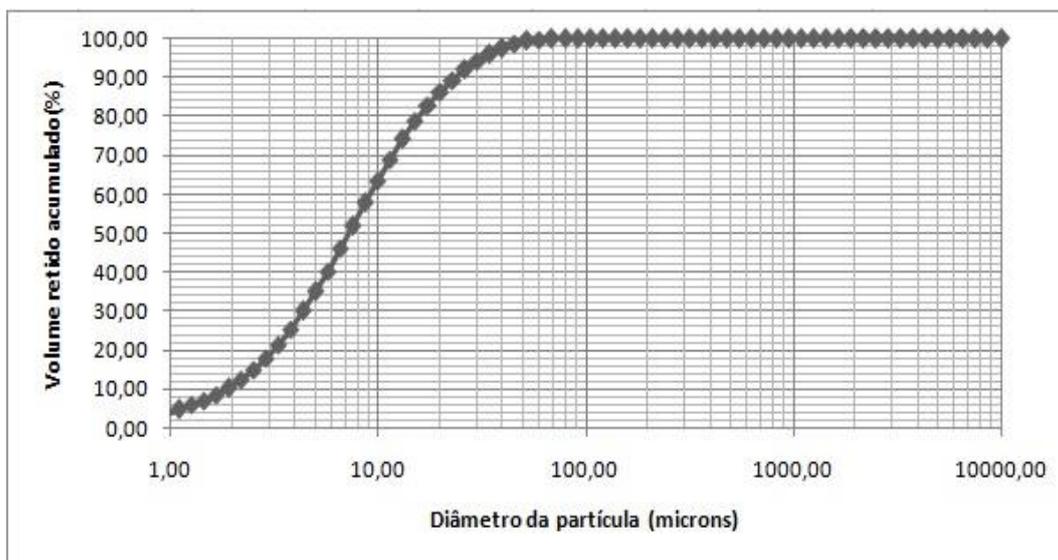


Figura 19 – Curva de frequência cumulativa. Distribuição da amostra 49 do presente trabalho.

Na Figura 20 se encontra a escala granulométrica modificada de Udden (1914) e Wentworth (1922), na qual o presente trabalho foi baseado. Foi utilizada a notação adimensional Φ , proposta em 1934 pelo sedimentólogo norte-americano W. C. Krumbein, através da equação abaixo, com o objetivo de se manter um padrão e uma melhor manipulação estatística dos dados, visto que esta escala teve ampla aceitação pela comunidade científica, estando atualmente divulgada.

$$\Phi = \log_2 d \quad (1)$$

Onde: d é o diâmetro do grão em Φ .

phi	Grain Size		Descriptive term	
	mm			
-10	1024		Very Large	} Boulder
-9	512		Large	
-8	256		Medium	
-7	128		Small	
-6	64		Very small	
-5	32		Very coarse	} Gravel
-4	16		Coarse	
-3	8		Medium	
-2	4		Fine	
-1	2		Very fine	
0	1	microns	Very coarse	} Sand
1	500		Coarse	
2	250		Medium	
3	125		Fine	
4	63		Very fine	
5	31		Very coarse	} Silt
6	16		Coarse	
7	8		Medium	
8	4		Fine	
9	2		Very fine	
			Clay	

Figura 20 – Escala granulométrica do programa Gradistat. Modificado de Udden (1914) e Wentworth (1922).

Existem várias técnicas para determinação do tamanho do sedimento (peneiramento, microscopia quantitativa, espalhamento de luz, contadores ópticos de partículas, velocimetria, espalhamento de nêutrons / raios X, cromatografia por exclusão de tamanho, entre outras). Cada técnica possui suas vantagens e desvantagens. Muitas vezes a escolha da melhor técnica vai ser influenciada principalmente pelo tamanho do sedimento e a pela necessidade dos resultados requeridos. Neste trabalho a técnica utilizada foi a difração a laser, devido à fração fina das amostras coletadas (8:1).

3.3.1 Método de análise: análise granulométrica por difração a laser

O método de difração a laser começou a ser implementado no final da década de 1970 (WEISS & FROCK, 1976; SWITHENBANK *et al.*, 1977). Avaliações detalhadas deste método são apresentadas por muitos autores, como McCave *et al.* (1986), De Boer *et al.* (1987), Singer *et al.* (1988), Wen *et al.* (2002) e Poizot (2008).

A difração a laser mede as distribuições de tamanho das partículas por medição da variação angular na intensidade da luz difundida à medida que um feixe de laser interage com as partículas dispersas da amostra. Partículas grandes dispersam a luz em pequenos ângulos em relação ao feixe de laser e partículas pequenas dispersam a luz em ângulos grandes, como ilustrado abaixo na Figura 21. Os dados sobre a intensidade da dispersão angular são então analisados para calcular o tamanho das partículas responsáveis por criar o padrão de dispersão (MALVERN INSTRUMENTS WORLDWIDE, 2012).

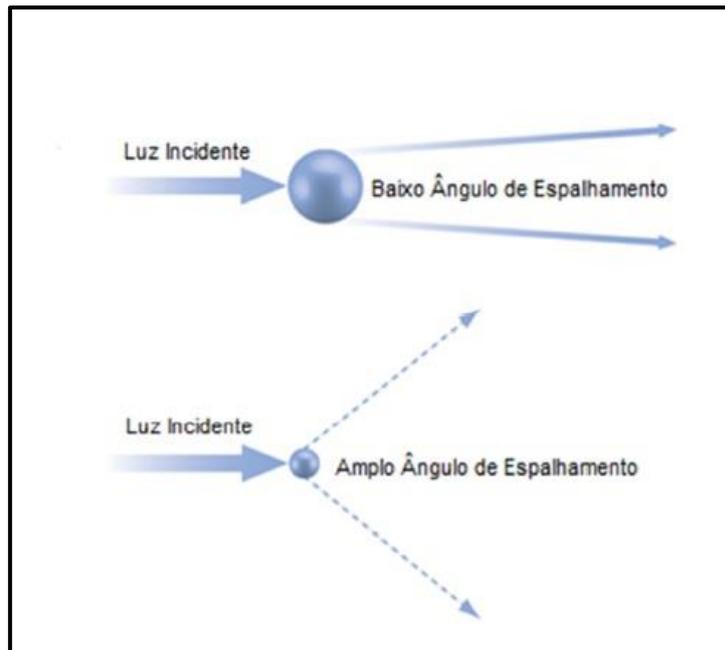


Figura 21 – Representação do ângulo de espalhamento de pequenas e grandes partículas. *Fonte:* modificado de Malvern Instruments Worldwide (2012).

A teoria Mie de espalhamento da luz é usada para calcular a distribuição de tamanho de partículas, com base no modelo esfera de volume equivalente. Esta teoria requer o conhecimento das propriedades ópticas (índice de refração e componente imaginário) tanto da amostra a ser medida quanto do dispersante.

Normalmente, as propriedades ópticas do dispersante são relativamente fáceis de encontrar e são dados publicados. Além disso, muitos instrumentos modernos possuem bancos de dados integrados que incluem os dispersantes mais usados. Para amostras em que as propriedades ópticas não são conhecidas, o usuário poderá medi-las ou estimá-las usando uma abordagem interativa com base no grau de adequação entre os dados modelados e os dados reais recolhidos para a amostra (MALVERN INSTRUMENTS WORLDWIDE, 2012).

3.4 Parâmetros granulométricos

3.4.1 Método gráfico de Folk & Ward (1957)

O método descrito por Folk & Ward (1957) representa o método mais empregado para o cálculo dos parâmetros estatísticos de uma distribuição granulométrica (FERREIRA, 2010). Desta forma, foi o método escolhido para o tratamento dos dados neste trabalho.

Nos métodos gráficos, utilizam-se valores determinados na curva acumulada, designados por *quartis* (valor ϕ correspondente a 25% e a 75% da distribuição granulométrica, designados por $Q1\phi$ e $Q3\phi$) ou por *percentis* (valor ϕ correspondente a $x\%$ da distribuição, referenciados como ϕ_x) (DIAS, 2004).

3.4.1.1 Média

É o valor médio dos grãos presentes em uma amostra. Otto (1939) propôs como medida de tendência central aproximativa a média granulométrica, uma formulação que, expressa em termos de ϕ , pode ser expressa como:

$$M_{\phi} = \frac{\phi_{84} + \phi_{16}}{2}$$

(2)

Conseqüentemente, na curva granulométrica representada na escala ϕ , a distância entre os percentis 16 e 84 (isto é, $50 - 68/2$ e $50 + 68/2$), representa a quantidade ponderal de partículas, na distribuição, cujos diâmetros estão compreendidos entre um desvio padrão para cada lado da média (DIAS, 2014).

Porém, como é reconhecida por Folk, a fórmula aludida ignora o terço central da distribuição. Folk & Ward (1957) propuseram então nova formulação, incluindo a mediana, referenciada como Média Gráfica (M_z):

$$Mz = \frac{\phi_{84} + \phi_{50} + \phi_{16}}{3}$$

(3)

No presente trabalho, o método de Folk & Ward (1957) foi utilizado. Ele define a média de uma amostra a partir da Fórmula 3 tratada acima.

3.4.1.2 Desvio padrão

O desvio padrão é um parâmetro que indica o grau de variação de um conjunto de elementos, representando o nível de espalhamento dos valores dos dados em torno da média, representando o grau de seleção dos grãos neste trabalho, como pode ser observado na Tabela II.

TABELA II – Classificação das amostras pelo desvio padrão pelo Método Gráfico

CLASSIFICAÇÃO	DESVIO PADRÃO
Muito Bem Selecionada	< 0,35
Bem Selecionada	0,35 a 0,50
Moderadamente Bem Selecionada	0,50 a 0,71
Moderadamente Selecionada	0,71 a 1,0
Mal Selecionada	1,0 a 2,0
Muito Mal Selecionada	2,0 a 4,0
Extremamente Mal Selecionada	> 4,0

Fonte: Folk & Ward (1957).

No presente trabalho, o cálculo do desvio padrão se baseou na fórmula de Folk & Ward (1957), que pode ser observada abaixo. Esta fórmula pondera o valor do desvio padrão obtido considerando os percentuais 16 e 84 (os quais indicam que 68% da porção central da curva é considerada), com o valor do desvio obtido utilizando os percentuais 5 e 95 (os quais indicam que 90% da curva é considerada).

$$\sigma = \frac{\Phi 84 - \Phi 16}{4} + \frac{\Phi 95 - \Phi 5}{6,6}$$

(4)

3.4.1.3 Assimetria

A assimetria indica o grau de desvio do pico do gráfico de frequência em relação à média, ou seja, indica a predominância da fração fina ou grossa em relação à porção central. A fórmula que define a assimetria gráfica é dada pela Equação 5:

$$v = \frac{\Phi 16 + \Phi 84 - 2 \cdot \Phi 50}{2 \cdot (\Phi 84 - \Phi 16)} + \frac{\Phi 5 + \Phi 95 - 2 \cdot \Phi 50}{2 \cdot (\Phi 95 - \Phi 5)}$$

(5)

Quando a curva é normal, os valores da média e da mediana são coincidentes e, conseqüentemente, a assimetria é igual à zero. Valores de assimetria não nulos informam que uma das caudas da distribuição tem mais expressão que a outra. Se esse valor é positivo, significa que há um valor maior do somatório das distâncias à direita da média e, por isso, um enriquecimento em partículas finas, principalmente nesse extremo da distribuição. Analogamente, se a assimetria for menor que zero, existe um enriquecimento em partículas grossas, como pode ser observado na Figura 22 (DIAS, 2004).

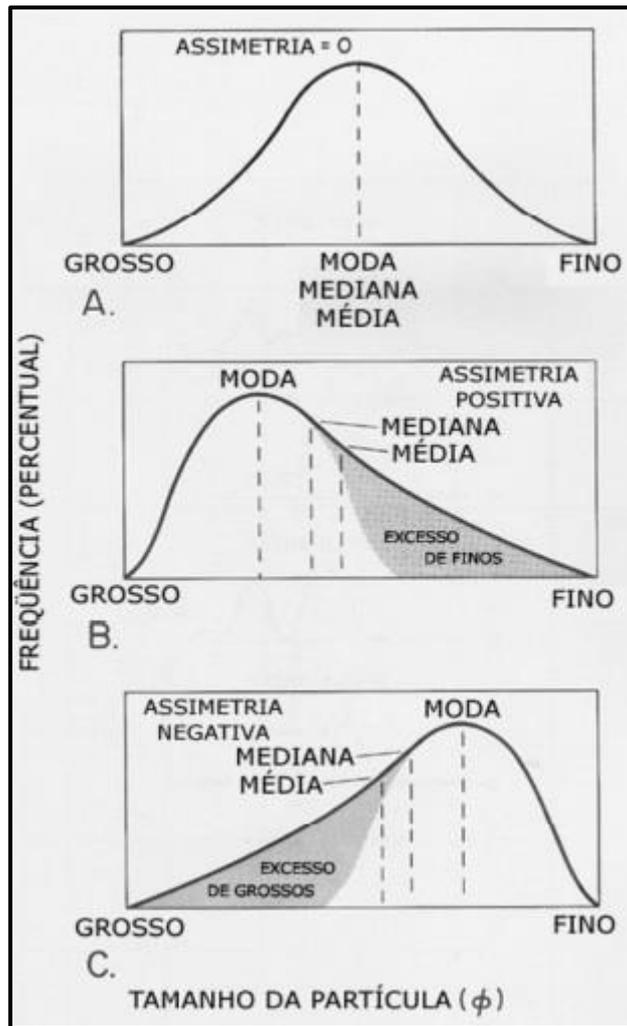


Figura 22 – Curvas de distribuição de frequência mostrando a influência das caudas nos valores de assimetria. *Fonte:* modificado de Friedman & Sanders (1978) *apud* Azevedo (2006).

As classificações quanto à assimetria são apresentadas na Tabela III:

TABELA III – Classificação das amostras pela assimetria pelo Método Gráfico

CLASSIFICAÇÃO	ASSIMETRIA
Assimetria Muito Positiva	1,0 a 0,3
Assimetria Positiva	0,3 a 0,1
Quase Simétrica	0,1 a -0,1
Assimetria Negativa	-0,1 a -0,3
Assimetria Muito Negativa	-0,3 a -1,0

Fonte: Folk & Ward (1957).

3.5 Modelos de Tendência de Transporte de Sedimentos (*Sediment Transport Analysis* - STA)

Modelos de análise de tendência direcional de sedimentos (STA) foram elaborados para uma maior contribuição para estudos sedimentológicos e ambientais. Nas últimas duas décadas vários autores como McLaren (1981); McLaren & Bowles (1985); Gao & Collins (1991,1992); Le Roux (1994a, 1994b); Gao (1996); Pedreros *et al.* (1996); Chang *et al.* (2001), só para citar alguns, têm acordado que a média granulométrica, o grau de seleção e a assimetria do sedimento são os parâmetros mais importantes para a determinação da direção de transporte dos sedimentos em um ambiente deposicional.

3.5.1 Fundamentos dos modelos de análise de tendência direcional

Todos os modelos são baseados na premissa básica de que os processos de sedimentação produzem alterações nos parâmetros estatísticos granulométricos (média, desvio padrão e assimetria) na direção de transporte, de modo que estas modificações podem ser usadas para determinar a dispersão dos sedimentos (LE ROUX *et al.*, 2002).

Existem oito casos de tendência de transporte de sedimentos que os modelos STA podem utilizar, como pode ser constatado na Tabela IV. Estes casos aparecem das diferentes combinações dos parâmetros estatísticos. Apesar da existência destes oito casos, nem todos eles são utilizados, pois cada autor considera hipóteses ou casos que melhor representem suas áreas de estudo.

TABELA IV – Casos de tendência de transporte representados com base nos parâmetros granulométricos. Onde F=material fino, C=material grosso, P=pior selecionado, B=melhor selecionado e os sinais – e + assimetria. O número 1 e 2 representam amostras no qual a amostra 2 está ao longo da trajetória da amostra 1.

Casos de Transporte	Desvio Padrão (σ)	Assimetria (v)	Média (μ)
FP-	$\sigma_2 > \sigma_1$	$v_2 < v_1$	$\mu_2 < \mu_1$
CP+	$\sigma_2 > \sigma_1$	$v_2 > v_1$	$\mu_2 > \mu_1$
FP+	$\sigma_2 > \sigma_1$	$v_2 > v_1$	$\mu_2 < \mu_1$
CP-	$\sigma_2 > \sigma_1$	$v_2 < v_1$	$\mu_2 > \mu_1$
FB-	$\sigma_2 < \sigma_1$	$v_2 < v_1$	$\mu_2 < \mu_1$
CB+	$\sigma_2 < \sigma_1$	$v_2 > v_1$	$\mu_2 > \mu_1$
FB+	$\sigma_2 < \sigma_1$	$v_2 > v_1$	$\mu_2 < \mu_1$
CB-	$\sigma_2 < \sigma_1$	$v_2 < v_1$	$\mu_2 > \mu_1$

Fonte: Mendonça & Ribeiro (2014).

3.5.2 Evolução dos Modelos STA

Neste capítulo, discutiremos sobre os princípios gerais dos modelos STA e posteriormente será analisada toda a evolução destes, começando pelo modelo unidimensional de McLaren (1981), além de apresentar o modelo bidimensional de Gao & Collins (1991) e de Le Roux (1994 a, b).

3.5.2.1 McLaren (1981)

McLaren (1981) foi o primeiro a desenvolver um modelo de transporte de sedimento baseado no estudo da combinação de parâmetros estatísticos (POIZOT *et al.*, 2008).

Analisando as mudanças nos parâmetros entre os sedimentos dos depósitos e suas fontes, McLaren (1981) considerou três preceitos: o depósito é o produto de uma única fonte de sedimento; a probabilidade dos processos de transporte de grãos moverem grãos finos é maior que a probabilidade de moverem grãos grossos; há uma grande possibilidade de que grãos grossos sejam depositados antes dos grãos finos durante o transporte.

Baseando-se em um sedimento com distribuição hipotética e assumindo que grãos mais leves apresentam maior probabilidade de serem erodidos e transportados do que grãos pesados, McLaren (1981) afirma que: 1) durante o transporte, os sedimentos tornam-se mais finos, melhor selecionados e com assimetria mais negativa do que o

sedimento fonte (FB-); 2) podem também se tornar mais grossos, melhor selecionados e com assimetria mais positiva (CB+); 3) em depósitos sucessivos, os sedimentos tendem a ficar mais finos, a seleção tende a melhorar e a assimetria a ficar mais positiva (VEIGA, 2005). Segundo este autor, os três casos seriam possíveis de ocorrer na natureza.

3.5.2.2 Gao & Collins (1991)

Gao & Collins (1991) introduzem técnicas de filtragem semi quantitativas e testes de significância para todos os casos (GAO & COLLINS 1992, 1994), o que resulta em um modelo em duas dimensões, que gera padrões de vetores residuais de transporte de sedimentos (VEIGA, 2005).

De acordo com Gao & Collins (1992), em muitos casos, os sedimentos na direção do transporte podem se tornar mais finos, sem aumento da assimetria (FB-), ou mais grossos, sem diminuição da assimetria (CB+).

Sempre que uma tendência é identificada entre dois pontos, um vetor direcional adimensional é registrado nesta direção. Os vetores direcionais em cada ponto são somados para produzir um único vetor resultante para cada tendência. Finalmente, uma técnica de suavização (filtragem) é aplicada para remover vetores que não estejam indicando tendências válidas (RIBEIRO *et al.*, 2000).

Vale ressaltar que, em seu trabalho, Gao *et al.* (1994) analisaram os oito casos em um local onde o transporte era conhecido. Em seus resultados, somente os casos nos quais o coeficiente de desvio diminuiu obtiveram tendências com alto grau de similaridade com a realidade. Desta forma, baseado nessas referências anteriores, os casos CP+, CP-, FP+ e FP- não foram analisados neste trabalho.

A principal desvantagem deste procedimento é que apenas dois locais de amostragem são comparados ao mesmo tempo, não considerando o fato de que o transporte de sedimentos provavelmente ocorre dentro de zonas e não “ponto a ponto”. (LE ROUX, 1994a *apud* RÍOS *et al.*, 2002).

3.5.2.3 Le Roux (1994 a, b)

Le Roux (1994a) faz uma análise crítica dos resultados obtidos por Gao & Collins (1992), encontrando vetores que poderiam resultar da escolha subconsciente de padrões de transporte de sedimentos. Outro problema seria a definição vaga de estações de vizinhança que adviria quando se assume uma distância representativa do espaçamento entre os pontos amostrais. Além disto, afirma que definir vetores considerando apenas duas amostras de cada vez não caracterizaria uma técnica verdadeiramente bidimensional (VEIGA, 2005).

Le Roux (1994b) propõe então uma nova abordagem para estimar a tendência de transporte de sedimentos. Em vez de analisar dois pontos amostrais de cada vez, o autor propõe a análise em grupos de cinco pontos, uma central e quatro estações satélites equidistantes e a 90° uma da outra, o que eliminaria os problemas do método de Gao & Collins (1991) (VEIGA, 2005).

O modelo de Le Roux (1994b) emprega uma estação de amostragem central e quatro estações satélites mais próximas, localizadas dentro ou perto dos quadrantes norte, sul, leste e oeste, como observado na Figura 23.

O tamanho médio, o desvio padrão e a assimetria dos sedimentos de cada estação são então integrados em um único valor adimensional. Neste método, uma técnica trigonométrica interativa é usada para determinar os parâmetros de dimensão de grão combinados em estações de dados distribuídas regular ou irregularmente (LE ROUX ET AL., 2002). Quando as estações estão localizadas em uma grade irregular, uma técnica de interação trigonométrica é usada para modificar os valores iniciais dos parâmetros, para levar em consideração a translação e a rotação das estações satélites.

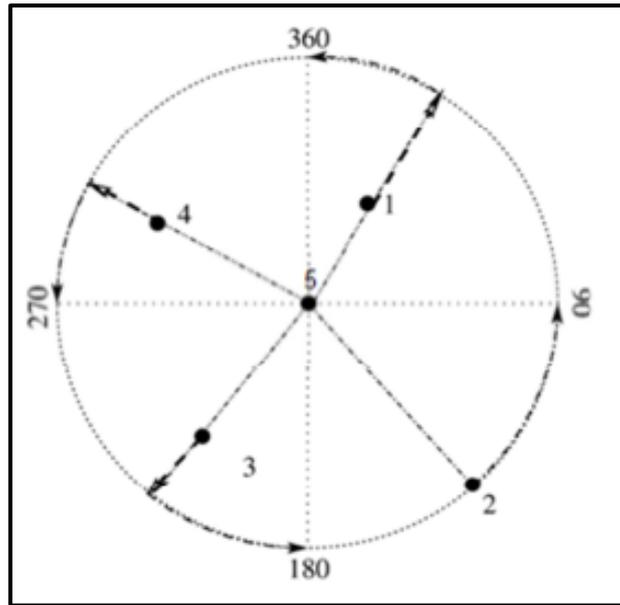


Figura 23 – Método de comparação do modelo Le Roux (1994). A estação central (ponto 5) é comparada com as quatro estações mais próximas (denominadas de estações satélites), que devem estar equidistantes do centro (da estação central). *Fonte:* modificado de Le Roux, (1994a) *apud* Poizot *et al.* (2008).

Segundo Le Roux *et al.* (2002), deve-se estudar os casos CB+, CB-, FB+ e FB- separadamente e também realizar uma combinação destes quatro casos em quaisquer áreas de estudo.

Cada caso de tendência de transporte de sedimentos usado no presente trabalho apresenta premissas e indicações para determinados tipos de ambientes sobre determinadas condições hidrodinâmicas. As características de cada modelo são levadas em consideração para a determinação do caso mais indicado para o estuário do rio Itajaí-Açu. No quadro abaixo podemos comparar os modelos de acordo com suas características.

TABELA V – Comparação dos modelos de tendência de transporte de sedimentos

MODELO	CASOS	ESPAÇAMENTO	DIMENSÃO	DIREÇÃO	TIPO DE MALHA
McLaren (1981)	FB+ FB- CB+	-	Unidimensional	Unidirecional	Análise longitudinal/ regular
Gao & Collins (1991)	FB+ CB-	Pequeno quando comparado à dimensão do local	Bidimensional	Bidirecional	Regular
Le Roux (1994)	FB+ FB- CB+ CB-	Não importa se as características das amostras vizinhas forem diferentes	Bidimensional	Unidirecional	Regular ou irregular

No geral é possível constatar que todos os autores que determinam casos de tendência de transporte de sedimentos admitem que o material se tornará mais selecionado que a fonte.

3.6 Exemplo de estudos

Diferentes casos de aplicação de tendência de transporte de sedimentos foram analisados na literatura, para então ser realizada uma comparação com o caso apresentado no presente trabalho, a fim de se compreender o funcionamento e respostas do método a diferentes ambientes deposicionais.

Vale ressaltar que nenhuma região com tão elevada homogeneidade na classificação dos parâmetros estatísticos e na granulometria dos sedimentos, como a do estuário do rio Itajaí-Açu, foi encontrada.

Portanto, são analisadas aqui as situações mais próximas e mais contrárias possíveis às do rio Itajaí-Açu, os modelos de tendência que melhor se adaptaram a cada situação, além dos problemas encontrados na sua aplicação.

3.6.1 Sistema estuarino da Ilha do Fundão (RJ), Brasil, Mendonça & Ribeiro (2014)

O primeiro estudo de caso é na região da Ilha do Fundão, localizada na margem oeste da Baía de Guanabara, com latitude $22^{\circ}51'27,24''S$ e longitude $43^{\circ}13'49,38''W$, conforme pode ser observado na Figura 24.

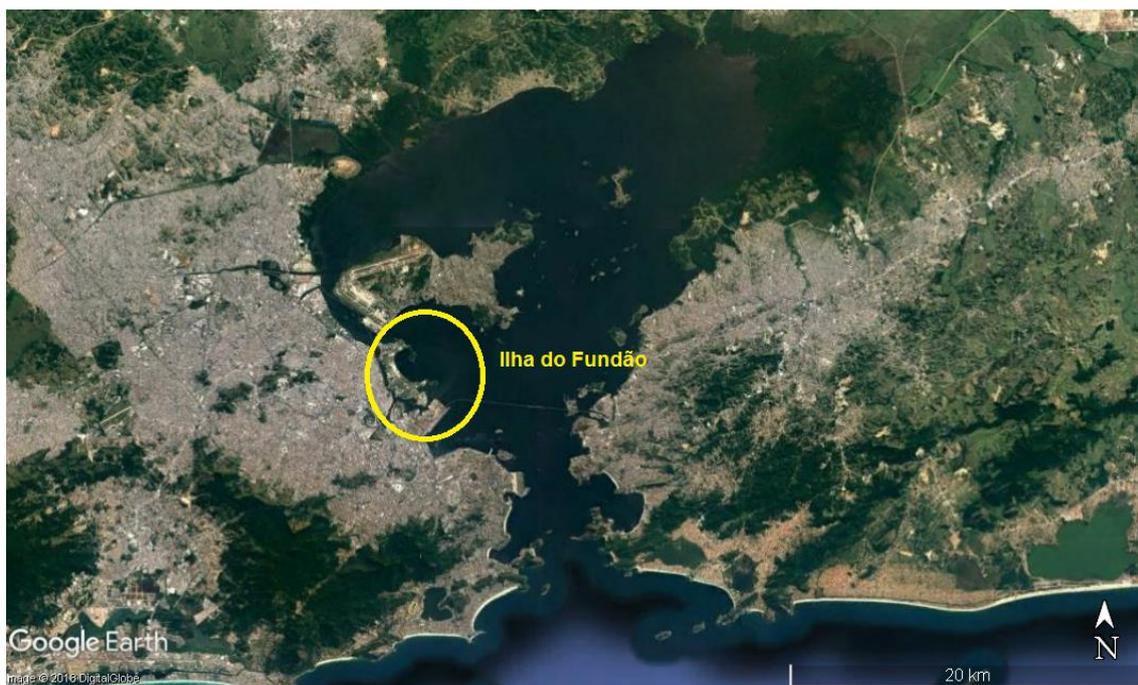


Figura 24 – Localização geográfica da Baía de Guanabara, com a Ilha do Fundão em destaque. *Fonte:* modificado de Google Earth, obtida em 10/06/2014 *apud* Mendonça & Ribeiro (2004).

Como é possível observar no mapa de distribuição da média granulométrica da Figura 25, o entorno da Ilha do Fundão possui sedimentos com classificação variando de areia muito grossa (-1ϕ a 0ϕ) a silte muito fino (7ϕ a 8ϕ). Para este tipo de classificação, de forma ampla, podemos dividir basicamente duas áreas distintas: a região norte da Ilha do Fundão, com maior concentração de sedimentos grossos, com os grãos variando de areia muito fina a areia muito grossa, e o restante do seu entorno, com maior concentração de sedimentos finos, com grãos variando de silte grosso a silte muito fino (MENDONÇA & RIBEIRO, 2004).

Em contraste com o estuário do rio Itajaí-Açu, a Ilha do Fundão apresenta uma distribuição granulométrica mais heterogênea e com presença de grãos mais grosseiros.

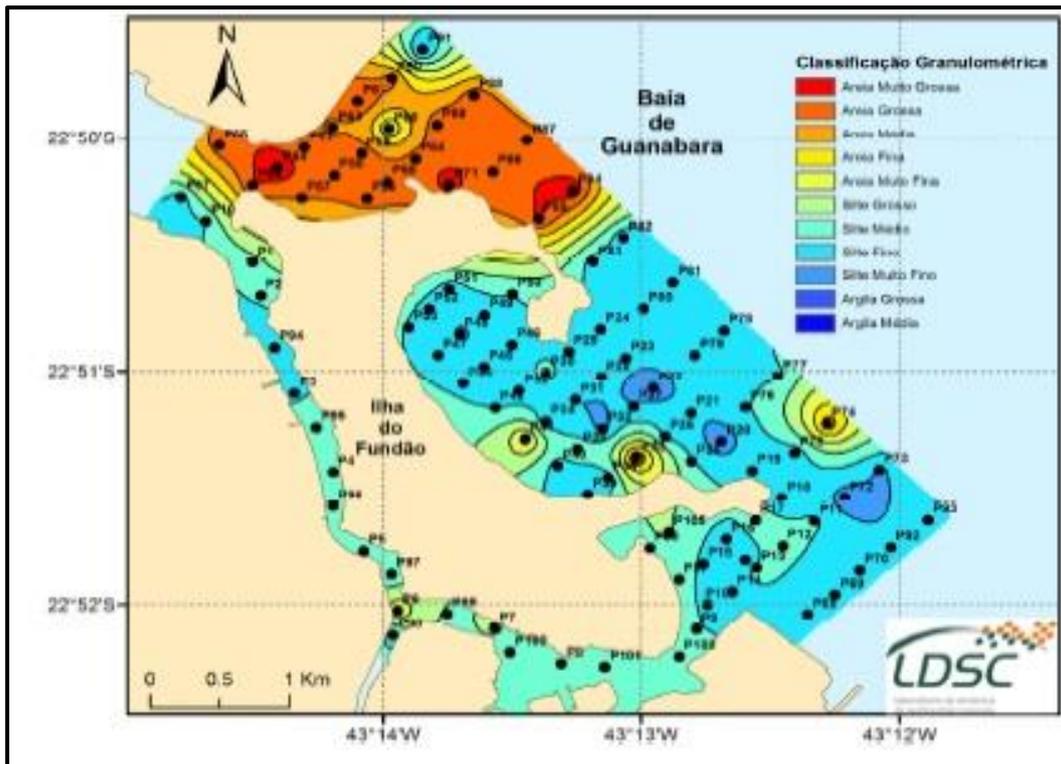


Figura 25 – Mapa de distribuição da média granulométrica (em ϕ), medida de tendência central calculada a partir das amostras de sedimento de fundo coletadas no entorno da Ilha do Fundão. De acordo com a classificação de Udden-Wentworth (1922): -1ϕ a 0ϕ (Areia Muito Grossa), 0ϕ a 1ϕ (Areia Grossa), 1ϕ a 2ϕ (Areia Média), 2ϕ a 3ϕ (Areia Fina), 3ϕ a 4ϕ (Areia Muito Fina), 4ϕ a 5ϕ (Silte Grosso), 5ϕ a 6ϕ (Silte Médio), 6ϕ a 7ϕ (Silte Fino), 7ϕ a 8ϕ (Silte Muito Fino), 8ϕ a 9ϕ (Argila Grossa) e 9ϕ a 10ϕ (Argila Média). *Fonte:* Mendonça & Ribeiro (2014).

De acordo com Mendonça & Ribeiro (2004), os modelos que apresentaram vetores com maior robustez estatística, isto é, com maior probabilidade de serem verdadeiros, são os casos CB+ e CB-. No geral, em cada região, evidencia-se a atuação de um caso com maior intensidade devido à distribuição espacial dos parâmetros estatísticos.

Para uma análise geral das tendências de transporte, o método Le Roux (1994), em que os quatro casos mais comuns na natureza (CB+, CB-, FB+ e FB-) são analisados em conjunto, foi o que gerou uma melhor e mais confiável representação da dinâmica sedimentar da região. Como pode ser observado na Figura 26, o transporte é longitudinal, ou seja, ao longo da Ilha do Fundão, indicando um transporte residual de sedimentos de saída do canal, enquanto que na região norte, o transporte residual é perpendicular à Ilha do Fundão, direcionando-se da Ilha do Governador para a Ilha do

Fundão. Nas regiões leste e sul, observa-se um padrão de transporte residual de entrada, apresentando vetores mais robustos em áreas com maiores profundidades.

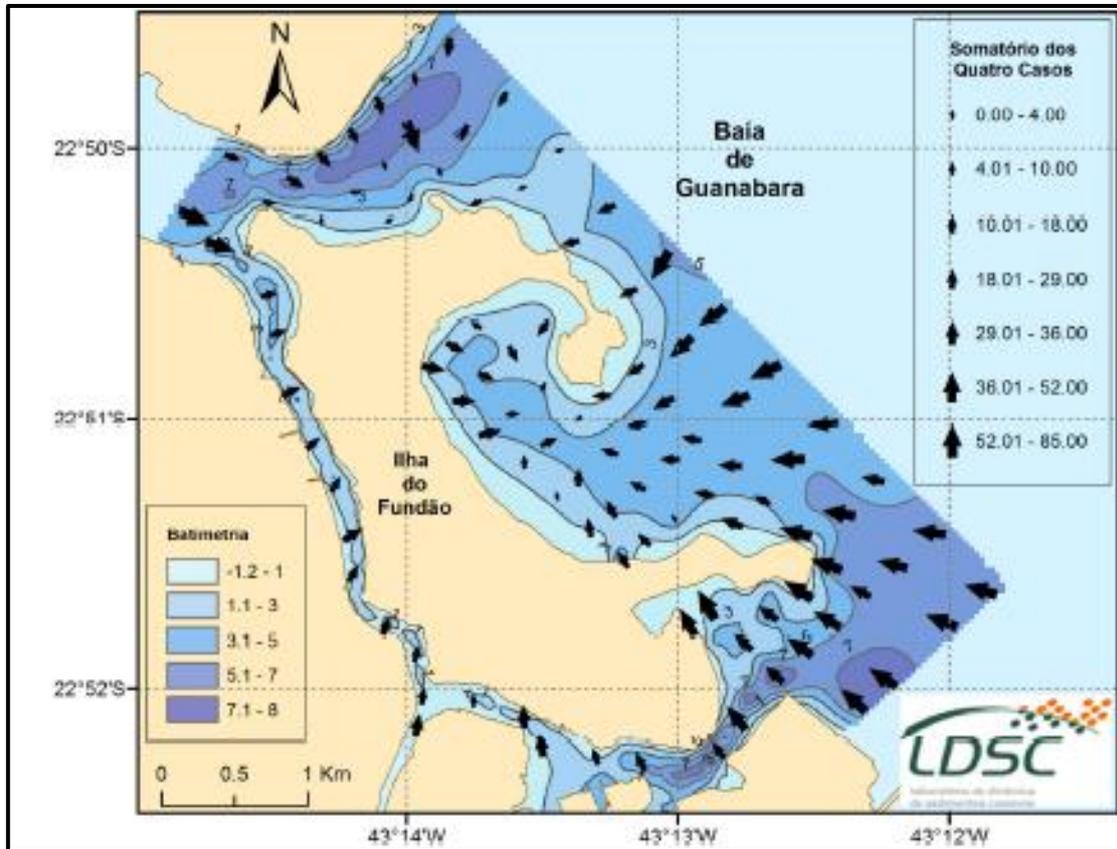


Figura 26 – Transporte líquido de sedimentos no entorno da Ilha do Fundão, considerando os quatro casos combinados: CB+, FB-, FB+ e CB-, em uma grade regular, com espaçamento de 200 m entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. O depósito resultante será mais fino ou mais grosso, terá assimetria mais negativa ou mais positiva, mas será sempre melhor selecionado. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado. *Fonte:* Mendonça & Ribeiro (2014).

3.6.2 Hylebos Waterway (EUA), McLaren (2005)

O segundo estudo de caso é na região de Hylebos Waterway em Tacoma, Washington, Estados Unidos (Figura 27).

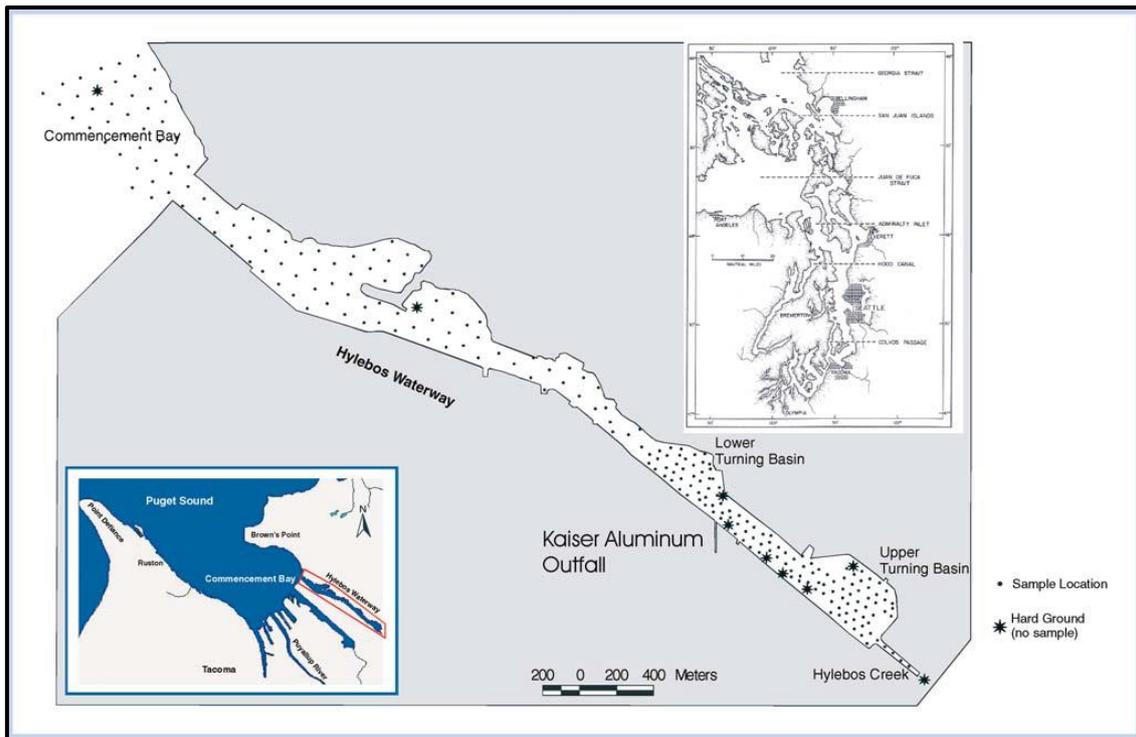


Figura 27 – Pontos de amostragem na região de Hylebos Waterway, em Tacoma, Washington, Estados Unidos. Foram coletados um total de 251 amostras. *Fonte:* McLaren (2005).

Como é possível observar na Figura 28, os sedimentos na região variam de cascalho arenoso a lama, com maior proporção de lama arenosa (57%). O último tipo de sedimento é comum ao longo da via navegável. Parcelas significativas de lama são encontradas tanto nas bacias de giro inferior como superior (MCLAREN, 2005).

Portanto, pode-se concluir que a região, apesar de possuir classes granulométricas variadas, apresenta em um todo um maior percentual de material fino, demonstrando uma considerável homogeneidade quando relacionada ao estudo de caso anterior.

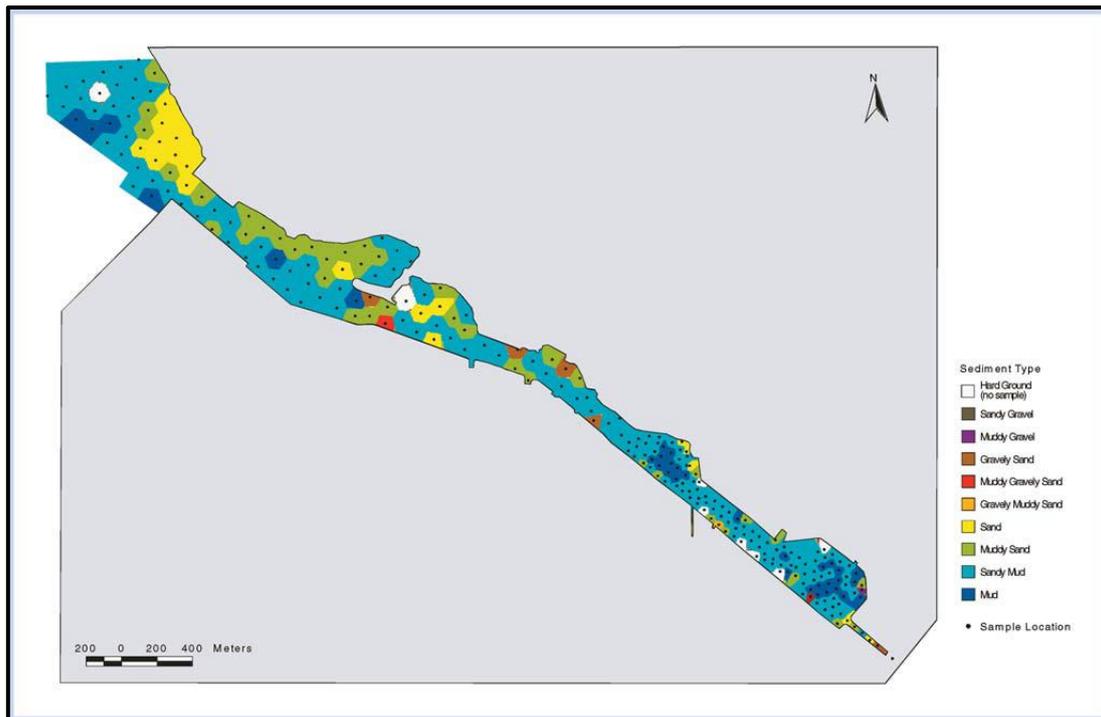


Figura 28 – Granulometria dos sedimentos em Hylebos Waterway, Tacoma, Washington, Estados Unidos
 Fonte: McLaren (2005).

Na busca de padrões de transporte de sedimentos, verificou-se no caso em questão que vias melhores e mais consistentes poderiam ser geradas com o uso de todas as amostras como um único conjunto completo de dados. Tentativas de isolar tipos de sedimentos específicos em fácies sedimentares (por exemplo, lama e areia) não produziram resultados satisfatórios, fato este que levanta questionamentos sobre a relação do potencial de funcionamento do método e do tipo de sedimento.

De acordo com McLaren (2005), quando analisados os casos de tendência de transporte em conjunto com as características hidrodinâmicas da região, os casos que melhor caracterizaram a área foram CB+ e FB-, que correspondem ao modelo de Gao & Collins (1991). No geral é possível observar um fluxo de sedimentos para sudeste, com regiões onde a forma do canal mais confinada leva a formação de fluxos circulares (Figura 29).



Figura 29 – Caminhos de transporte de sedimentos líquidos, comportamento dinâmico e faixas de transporte correspondentes em Tacoma, Washington, Estados Unidos. *Fonte:* McLaren (2005).

3.6.3 Baías de Antonina e Paranaguá (PR), Brasil, Carneiro (2013)

O sistema de baías Antonina-Paranaguá (Figura 30) tem área de 258,4 km², com um volume de 1,4 x 10⁹ m³, e extensão longitudinal de 55 km. A circulação das águas em ambas é regida pelas correntes de marés com influência sazonal do aporte fluvial (KNOPPERS *et al.*, 1987 *apud* CARNEIRO, 2013), com uma descarga de água doce de aproximadamente de 178 m³.s⁻¹ no período chuvoso (verão austral) e de 47 m³.s⁻¹ no período seco (inverno austral) (MANTOVANELLI, 1999).

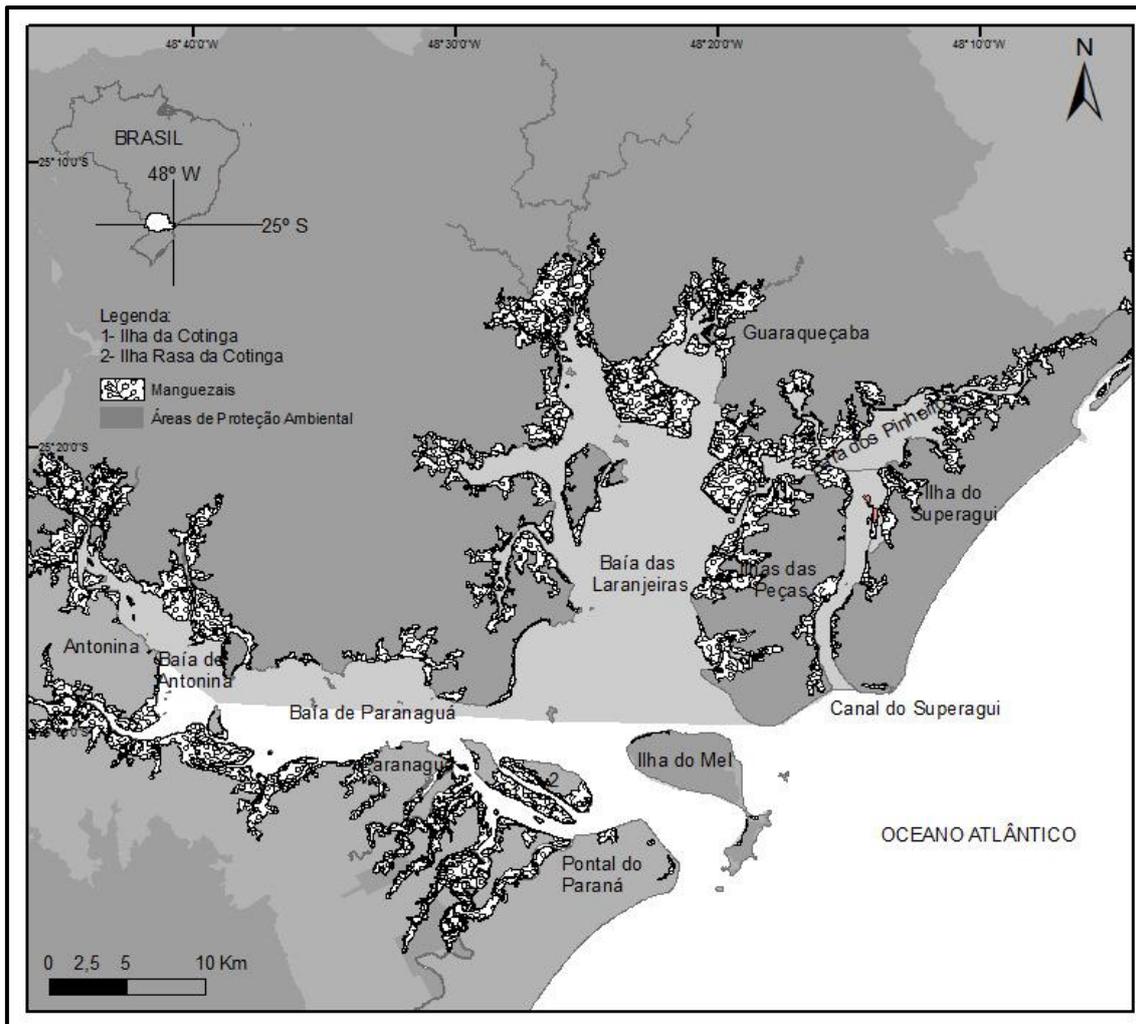


Figura 30 – Mapa de localização da área de estudo do Complexo Estuarino de Paranaguá com as baías de Antonina e Paranaguá (segmento E-W). *Fonte:* Carneiro (2013).

Segundo Lessa *et al* (1998), o eixo E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá apresenta uma segmentação, em três setores, na distribuição dos sedimentos de fundo. Na cabeceira do estuário (zona superior meandrante) encontram-se areias fluviais; no setor intermediário (zona de funil) predominam lamas (Figura 31), e na área de desembocadura encontram-se areias finas a muito finas bem selecionadas, com características marinhas (CARNEIRO, 2013).

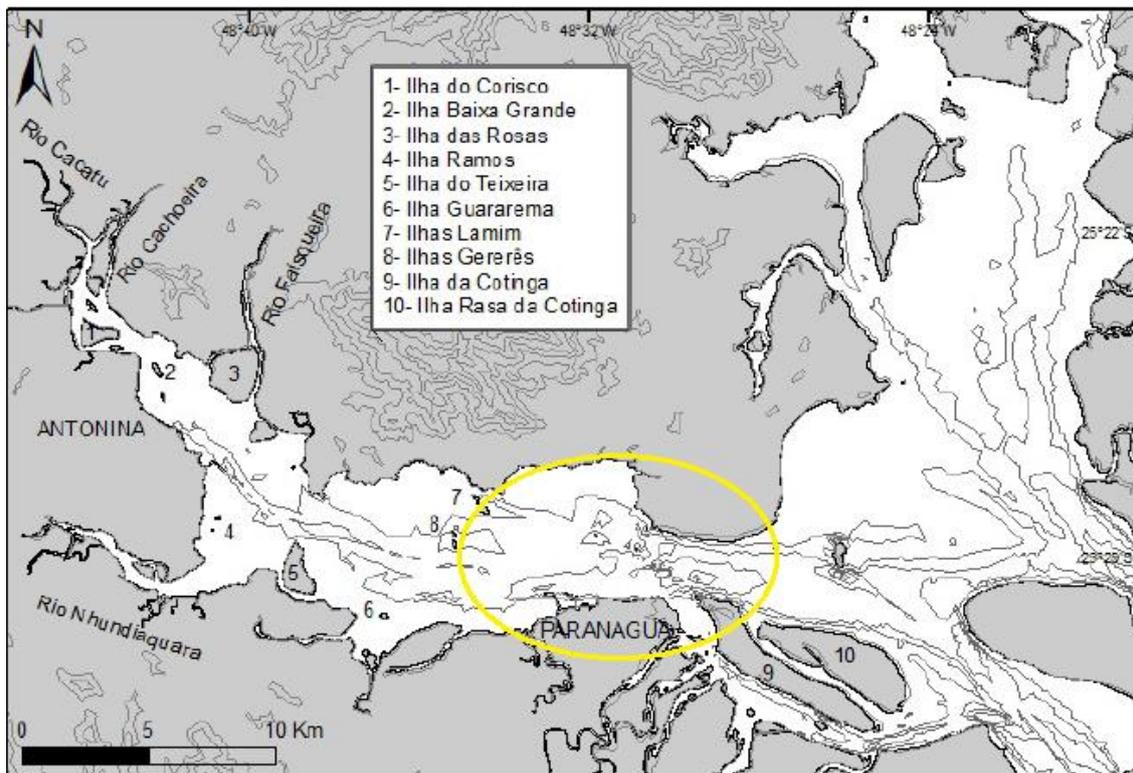


Figura 31 – Região com maior concentração de material fino do Complexo Estuarino de Paranaguá. (CHANG *et al.*, 2001 *apud* CARNEIRO, 2013).

Carneiro (2013), realizou a comparação dos resultados dos modelos de tendência de transporte de sedimentos proposto por McLaren (1981); Gao & Collins (1991) e Le Roux (1994). Segundo a Figura 32, é possível observar que os modelos de McLaren (1981) e Le Roux (1994) apresentaram vetores mais significativos para a região fina, enquanto que o modelo de Gao & Collins (1991) não foi capaz de gerar os vetores nesta área, se mostrando mais eficaz para a determinação de vetores em sedimentos mais grosseiros. Como a robustez é uma das maneiras de validar e agregar confiabilidade aos resultados, e levando em consideração as características hidrodinâmicas da área levantadas no artigo, é possível definir que os modelos unidirecionais de McLaren (1981) e Le Roux (1994) são mais indicados na determinação do transporte sedimentar na região.

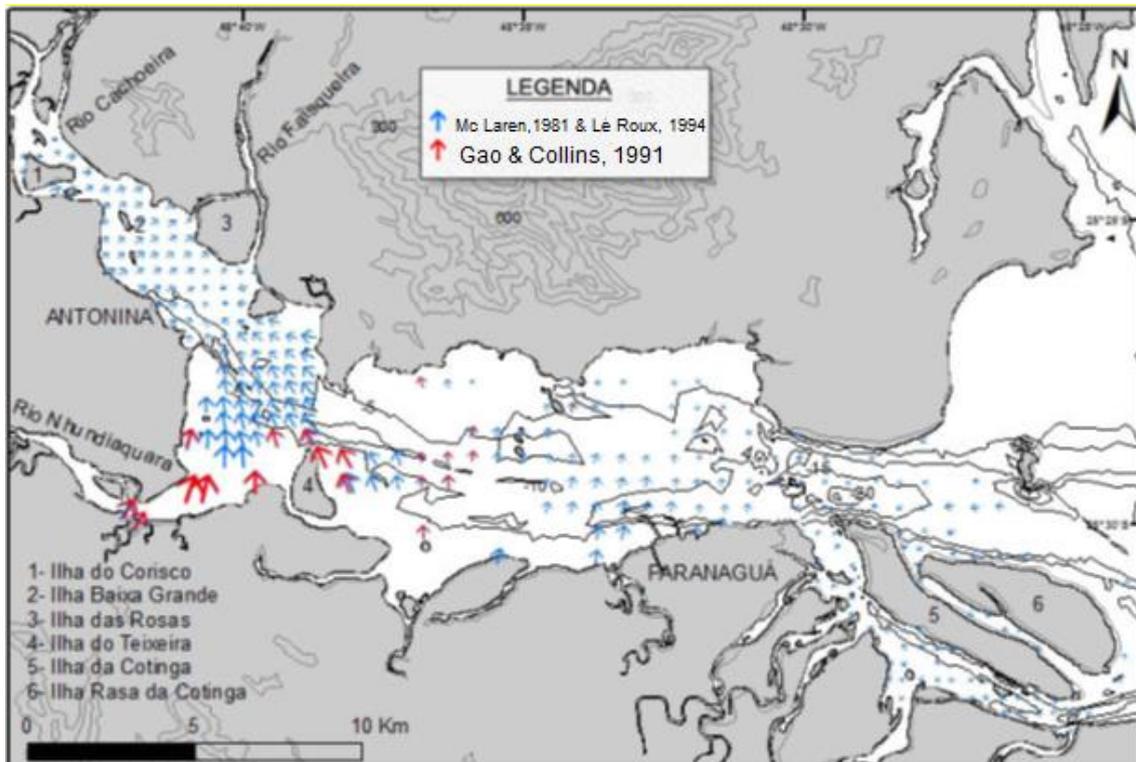


Figura 32 – Tendências de transporte sedimentar do segmento E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá para o ano de 2012 com as amostras totais. *Fonte:* Carneiro (2013).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Batimetria

A batimetria do estuário foi determinada a partir da carta náutica número 1841, obtida no site da Marinha do Brasil. Foi delimitado um ambiente SIG (Software Arcgis), no qual a carta foi georreferenciada a partir da digitalização das curvas batimétricas.

Posteriormente foi elaborado o arquivo raster da profundidade do canal, a partir do método de interpolação Inverse Distance Weighting (IDW) no software Arcgis para a malha a montante do estuário. A correção de determinados pontos da interpolação foi realizada com a construção de shapes de polígonos sobre as regiões a serem corrigidas.

4.2 Trabalho de campo e amostragem

Os dados coletados são do projeto Levantamento de Dados de Camadas de Lama do Estuário do Rio Itajaí (ACQUAPLAN/LDSC), que corresponde às amostras coletadas na Campanha 2 em agosto de 2016 por pesquisadores do laboratório de dinâmica de sedimentos coesivos, com um total de 48 amostras, localizada a montante do rio, mais especificamente entre o Trocadero Terminal Portuário e o Terminal Portuário Braskarne, coletadas

As amostras coletadas na Campanha 1 já se encontravam disponíveis no laboratório e pertencem a um projeto de parceria entre a empresa HIDROTOPO e o Laboratório de Dinâmica de Sedimentos Coesivos (UFRJ), com um total de 21 amostras, localizadas a jusante do rio, dentro da área do Porto Público de Itajaí, como pode ser observado na Figura 33.

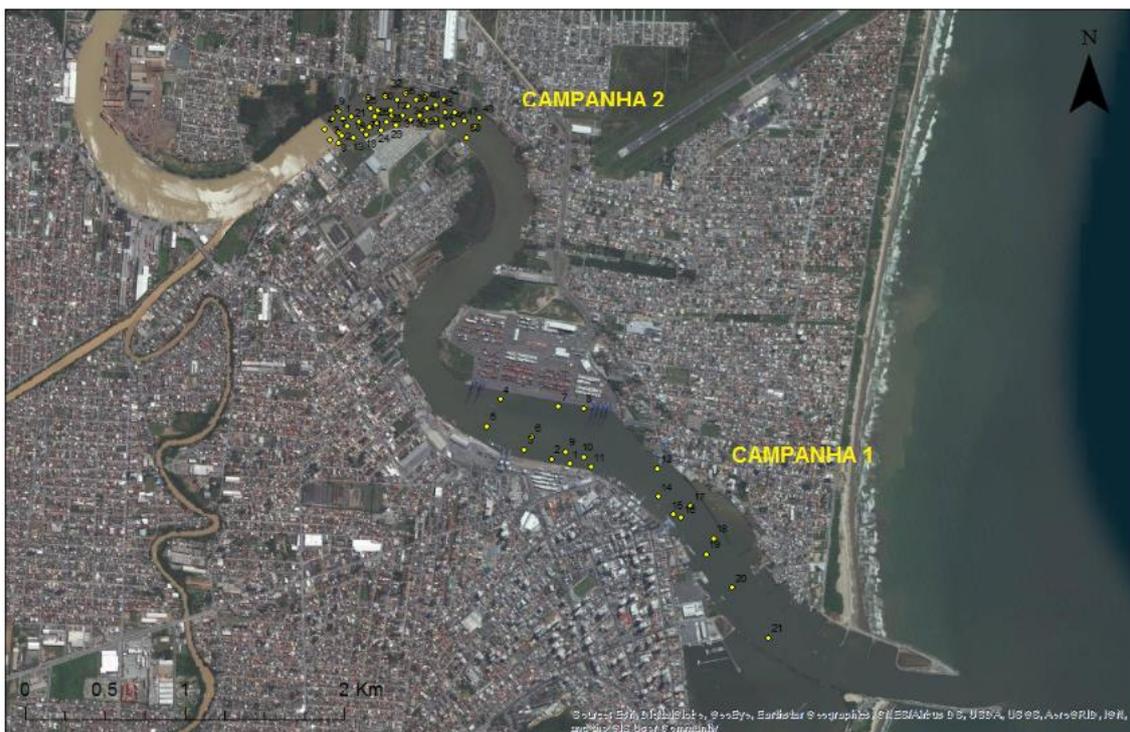


Figura 33 – Imagem ilustrando localização geral das malhas amostrais das duas campanhas.

Para a confecção da grade original de amostragem usada na Campanha 2, foram utilizados dados de longitude e latitude, mantendo-se um espaçamento constante médio de 112 m entre cada estação, totalizando 48 pontos. Em cada ponto, foram coletadas somente amostras de fundo.

O trabalho ocorreu em três dias, 16, 17 e 18 de agosto de 2016. No dia 16, foram coletadas 10 amostras, no dia 17 um total de 25 amostras e, por fim, no dia 18, um total de 11 amostras em frente ao Terminal Barra do Rio.

As amostras de fundo foram retiradas com um amostrador de fundo *Van Veen* em uma quantidade de aproximadamente 400g e armazenadas em sacolas plásticas devidamente lacradas e identificadas. A quantidade de material recolhido foi definida de maneira em que contivesse a quantidade suficiente para que todas as análises necessárias fossem realizadas, como a determinação do teor de matéria orgânica.

4.2.1 Análise Laboratorial

A análise laboratorial das 69 amostras foi dividida em três etapas. A primeira teve como objetivo a obtenção do tamanho dos sedimentos coletados, com o uso de um

equipamento de difração a laser. Na segunda etapa os resultados obtidos na etapa um foram processados no programa *Gradistat*, para a determinação dos parâmetros estatísticos (média, desvio padrão, assimetria) de cada amostra.

Por fim, com os parâmetros estatísticos definidos, foi inferida a tendência do transporte de sedimentos na região, com o auxílio do programa *GiSedTrend*. Segue abaixo, na Figura 34, um fluxograma com todas as etapas do projeto.

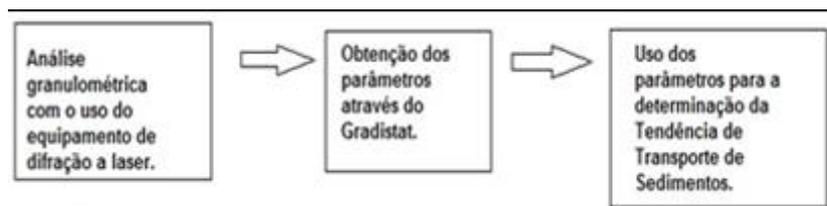


Figura 34 – Fluxograma referente à metodologia aplicada para amostras coletadas ao longo do estuário do rio Itajaí-Açu.

4.2.2 Determinação da distribuição granulométrica

O equipamento utilizado para efetuar a análise granulométrica por dispersão laser neste trabalho é da marca Malvern Mastersizer 2000, pertencente ao Laboratório de Dinâmica de Sedimentos Coesivos (LDSC), COPPE / UFRJ. Os espectros de difração foram analisados de acordo com a teoria de Mie, que é uma solução analítica completa das equações de Maxwell para a dispersão de radiação eletromagnética por partículas esféricas. Como as amostras são predominantemente de fração fina (valor médio máximo de 8,6% de areia), nenhuma análise prévia de peneiramento foi realizada anteriormente. O total de 69 amostras foi analisado diretamente no equipamento de difração a laser.

As amostras encontravam-se *in natura*. Antes das medições, elas foram homogeneizadas e uma alíquota representativa, cerca de 2,5 a 5 ml, dependendo da concentração da amostra, foi retirada de forma a não viciar a análise. O equipamento utilizado possui uma unidade de dispersão aquosa, como pode ser visto na Figura 35. Nesta unidade, é introduzido o béquer juntamente com a mistura já dispersa em água destilada.



Figura 35 – Equipamento de difração a laser da marca MalvernMastersizer 2000 utilizada no presente trabalho.

A obscuração, medição da turbidez detectada pelo equipamento de difração a laser de acordo com a adição de material, foi mantida entre 20 e 30% neste trabalho. Inicialmente foi realizada a configuração do equipamento, durante a qual foi definido o índice de refração do meio dispersante, a água, com um valor de 1,333 e o índice de refração da argila 1,560.

Colocou-se a amostra no béquer, foi definida na unidade de dispersão aquosa uma rotação fixa de 2600 rpm e esperou-se aproximadamente 3 minutos para que a obscuração estabilizasse. Cada amostra foi submetida a três medições com o uso do ultrassom por 6 minutos e intensidade de 10 kHz. Ao final do ultrassom a medição foi realizada.

Para cada medição, foram realizadas três réplicas, a fim de que obtivéssemos maior confiança estatística. O resultado consistiu em uma média das três análises, que em geral apresentaram desvio padrão de 1,2%.

Após o processamento das amostras, mais duas etapas foram realizadas: a obtenção dos parâmetros estatísticos (média, desvio padrão e assimetria) a partir das curvas granulométricas oriundas da análise laboratorial e a determinação dos padrões de transporte.

4.3 Pós-processamento

4.3.1 Gradistat

Após a análise granulométrica no equipamento Mastersizer 2000 da Malvern, os resultados obtidos foram processados no programa *Gradistat* versão 8.0. O *Gradistat* é um software escrito em *Microsoft Visual Basic* e integrado em uma planilha do Microsoft Excel, o qual permite que a distribuição granulométrica seja expressa nas formas tabular e gráfica.

Moda, média, assimetria, classificação e outras estatísticas são calculadas aritmeticamente, geometricamente (em unidades métricas) e logaritmicamente (em unidades \emptyset) usando métodos gráficos instantâneos e Folk & Ward (BLOTT&PYE, 2001). É requerido, como dado de entrada, a porcentagem de sedimentos presentes em um número de frações de tamanho, que pode ser o peso retido numa série de peneiras ou a porcentagem de sedimento detectado em classes de tamanho derivados de um equipamento de granulometria a laser, como no caso do presente trabalho.

Segundo Ferreira (2010), desde o trabalho de McLaren & Bowles (1985), a escala \emptyset é utilizada nos modelos STA, pois, de acordo com esses autores, a transformação logarítmica tende a tornar as distribuições granulométricas mais simétricas, sendo mais apropriado para a compreensão das tendências granulométricas (MENDONÇA & RIBEIRO, 2014).

4.3.2 GiSedTrend

Escrito em C++, o programa GiSedTrend utilizado neste trabalho consiste em um *plugin* do software open source Quantum GIS, permitindo uma análise bidimensional da tendência de transporte dos sedimentos. Como principal vantagem, esta ferramenta oferece recursos na área de Sistemas de Informação Geográfica (GIS) (POIZOT & MÉAR, 2010).

Como com qualquer outro plugin QGIS, o GisedTrend pode ser carregado quando necessário e depois aparece no aplicativo QGIS principal enquanto uma nova entrada no menu principal e como um ícone específico na barra de ferramentas do plugin, conforme observado na Figura 36.

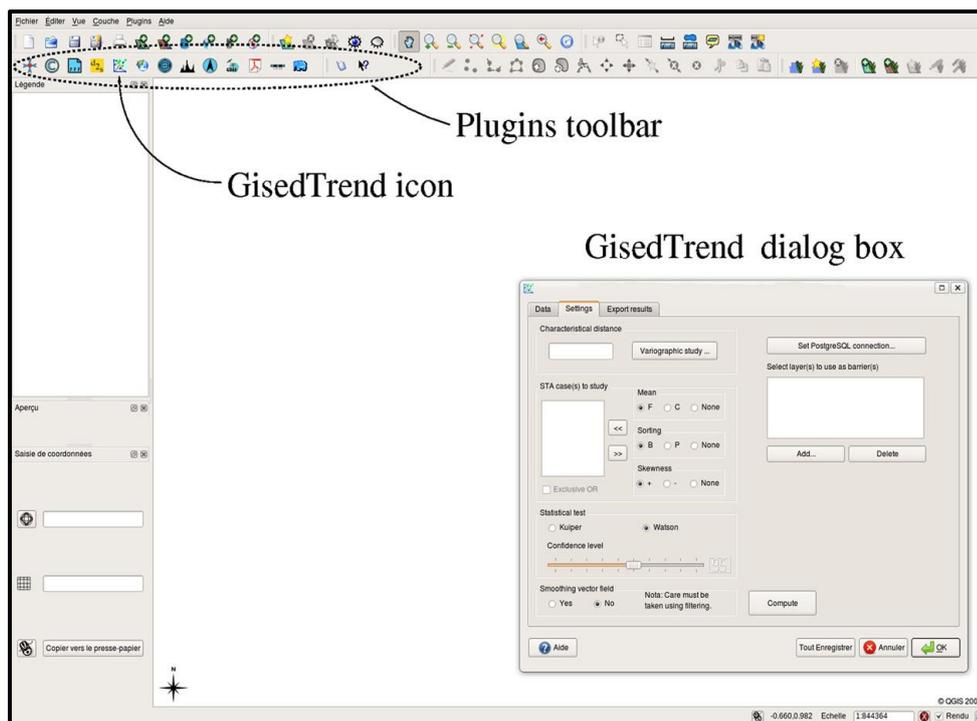


Figura 36 – Interface do plugin GiSedTrend no software Quantun GIS. Fonte: Poyzot y Méar (2010).

As instalações de gerenciamento de dados representam a primeira vantagem do plugin GisedTrend a ser integrado em um ambiente GIS. A primeira guia da caixa de diálogo do plugin GisedTrend é dedicada a entradas de dados que podem ser implementadas usando três métodos diferentes.

O primeiro método nos permite ler dados de arquivos de texto. Uma caixa de diálogo específica é fornecida para analisar o formato do arquivo de texto e vincular os diferentes campos do arquivo de entrada com as informações GSTA necessárias, isto é, coordenadas (X e Y) e parâmetros estatísticos (média, classificação e assimetria).

Já o segundo método de entrada de dados é ler dados de uma lista de formatos de arquivo GIS comuns (arquivos shapefiles ESRI, arquivos Map Info etc.) (POIZOT & MÉAR, 2010). A lista é preenchida com os nomes das camadas de GIS carregados no projeto ou sessão atual do QGIS. Quando uma determinada camada GIS é escolhida, sua tabela de atributos é lida e os links devem ser definidos entre campos da tabela de atributos e as informações GSTA necessárias. Um método final de importação de dados consiste na leitura de uma base de dados sedimentológica criada especificamente para armazenar dados específicos da área.

Os parâmetros estatísticos e coordenadas (UTM) foram colocados no bloco de notas, em formato “.txt” e carregados no plugin. Já a distância característica (Dcr) entre

os pontos foi adicionada diretamente ao programa em um campo específico, quando necessário.

Neste trabalho, foi realizada a medição da distância entre cada ponto de coleta e calculada a média das distâncias, que foi de 112 m. A grade de amostragem utilizada foi regular.

Segundo Poizot & Méar (2010), neste programa, caso seja necessário que vários casos de transporte sejam analisados em conjunto, é possível realizar a mistura (somatório) dos casos, de modo que o vetor final corresponderá à soma vetorial de todos os casos testados.

Os três modelos de análise de tendência foram analisados inicialmente (MCLAREN, 1981; GAO & COLLINS, 1991 e LE ROUX, 1994). Posteriormente, os quatro casos que parecem ser dominantes na natureza, FB-, CB+, CB- e FB+ (LE ROUX & ROJAS, 2007) foram analisados separadamente. Por fim, estes quatro casos foram analisados com 6 combinações diferentes com o objetivo de verificar o padrão geral das tendências de transporte.

5 RESULTADOS

5.1 Batimetria

A profundidade do canal é, em geral, menor nas margens, variando de 0 a 8 m, e maior na parte central, variando de 10 a 14 m de profundidade, como pode ser visto na Figura 37.

A área a montante do estuário possui profundidade variando de 4 a 10 m, com pontos de maior profundidade no centro do canal. Já a área a jusante possui profundidades maiores, que variam de 4 a 12 m, com regiões de menor profundidade, chegando até a 2 m nas margens.

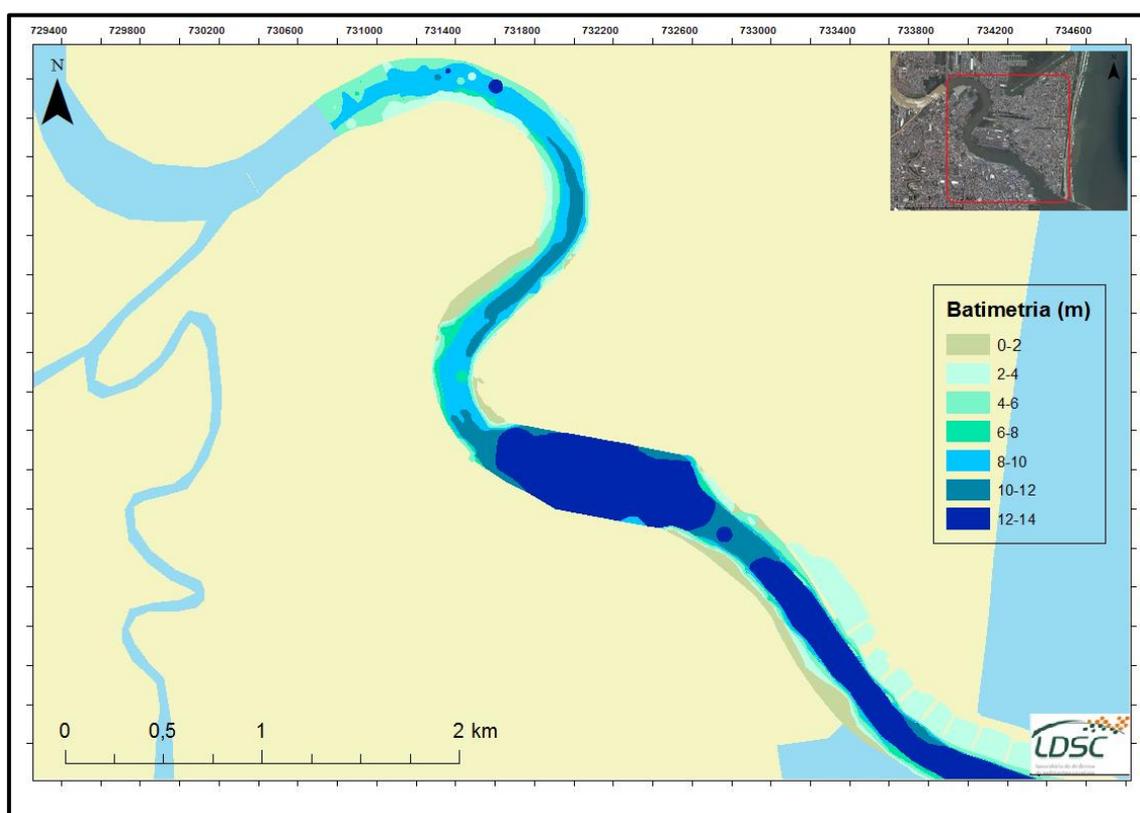


Figura 37 – Batimetria do estuário do rio Itajaí-Açu.

5.2 Classificação granulométrica

De acordo com o diagrama textural de Folk (1974), na Figura 38, as 69 amostras se distribuem entre os campos de classificação de silte e silte arenoso, como já descrito anteriormente. No diagrama também é possível observar um alinhamento das amostras no local onde a relação entre areia e silte é de aproximadamente 7:1, o que permite

estabelecer uma ligação direta entre localização e granulometria do material. A medida que se avança para jusante, maior é o teor de areia nas amostras, que pode ser relacionado à proximidade da área fonte. No anexo 1 A e 1B é possível observar toda a distribuição granulométrica das amostras coletadas no presente trabalho.

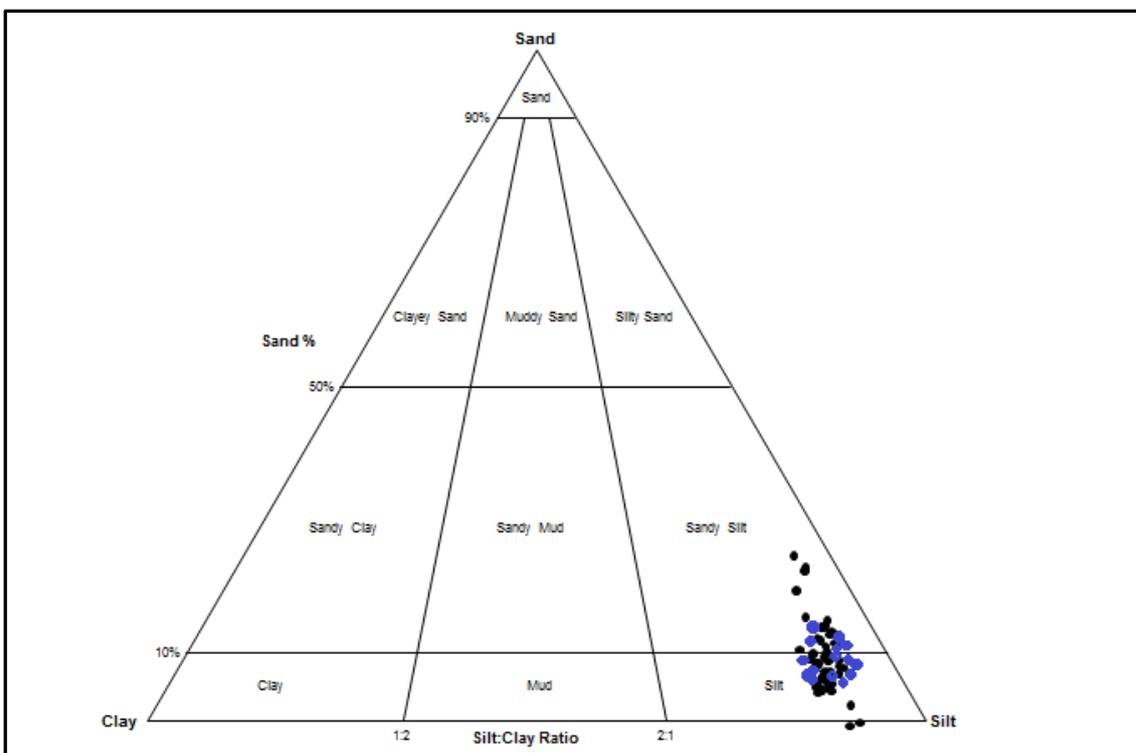


Figura 38 – Classificação granulométrica das 69 amostras coletadas ao longo do estuário do rio Itajaí-Açu. Em azul estão representadas as amostras da malha a jusante e em preto, as amostras da malha a montante do estuário.

5.3 Distribuição dos parâmetros estatísticos

5.3.1 Média

A partir da Figura 39, é possível observar que a classificação granulométrica das amostras coletadas se concentra entre 5 ϕ e 8 ϕ , o que permite classificá-las entre silte grosso, médio e fino.

O silte médio encontra-se disposto por toda a malha, apresentando-se em maior concentração que as outras frações, enquanto que o silte grosso aparece em maior concentração nas margens norte, representadas pelas amostras 9 e 27 e sul do canal,

sendo representadas pelas amostras 50, 24, 2 e 13. Além disso, a fração silte fino está localizada na margem norte do canal, sendo representada pela amostra de número 30.

Com isso, é possível observar que as amostras apresentam homogeneidade quanto à classificação granulométrica. Esta homogeneidade pode ser visualizada ainda mais proeminente na malha a jusante, onde todas as amostras são consideradas predominantemente como silte médio (Figura 40).

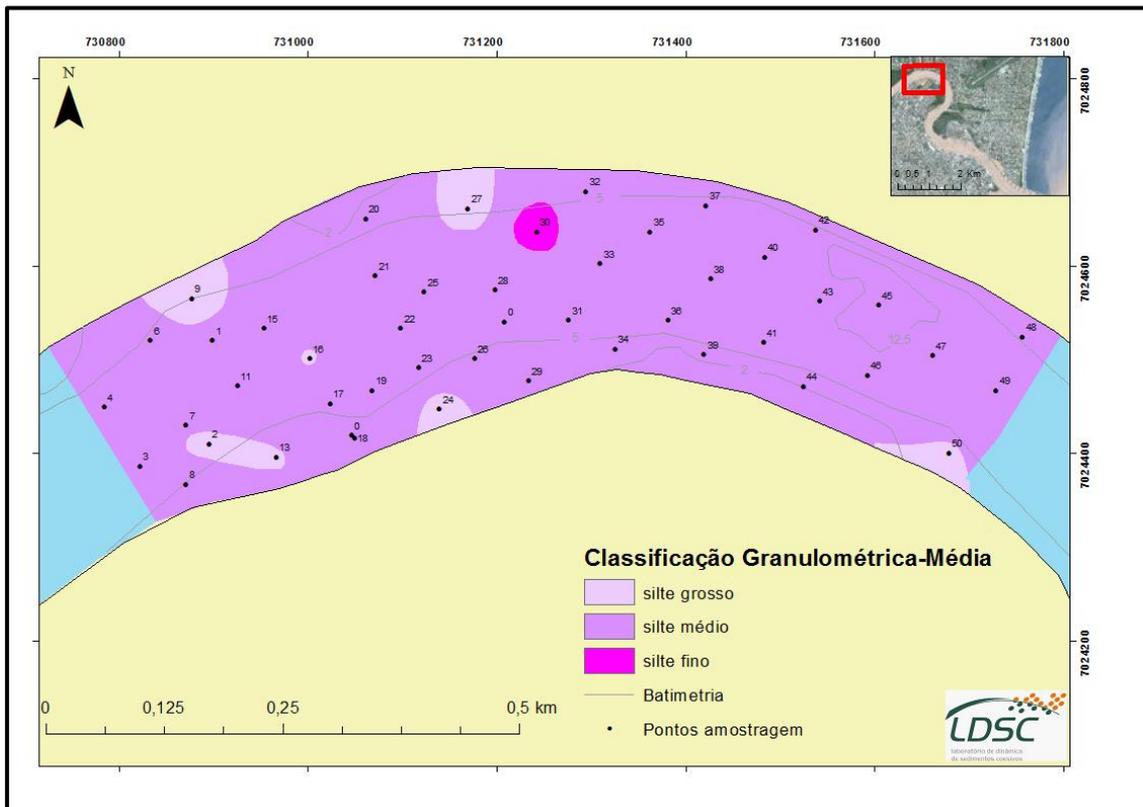


Figura 39 – Mapa de distribuição da média granulométrica (ϕ) das amostras pertencentes a malha a montante do estuário. De acordo com a classificação de Udden-Wentworth (1922): 1 a 0 (Areia Muito Grossa), 0 a 1 (Areia Grossa), 1 a 2 (Areia Média), 2 a 3 (Areia Fina), 3 a 4 (Areia Muito Fina), 4 a 5 (Silte Grosso), 5 a 6 (Silte Médio), 6 a 7 (Silte Fino), 7 a 8 (Silte Muito Fino), 8 a 9 (Argila Grossa) e 9 a 10 (Argila Média).

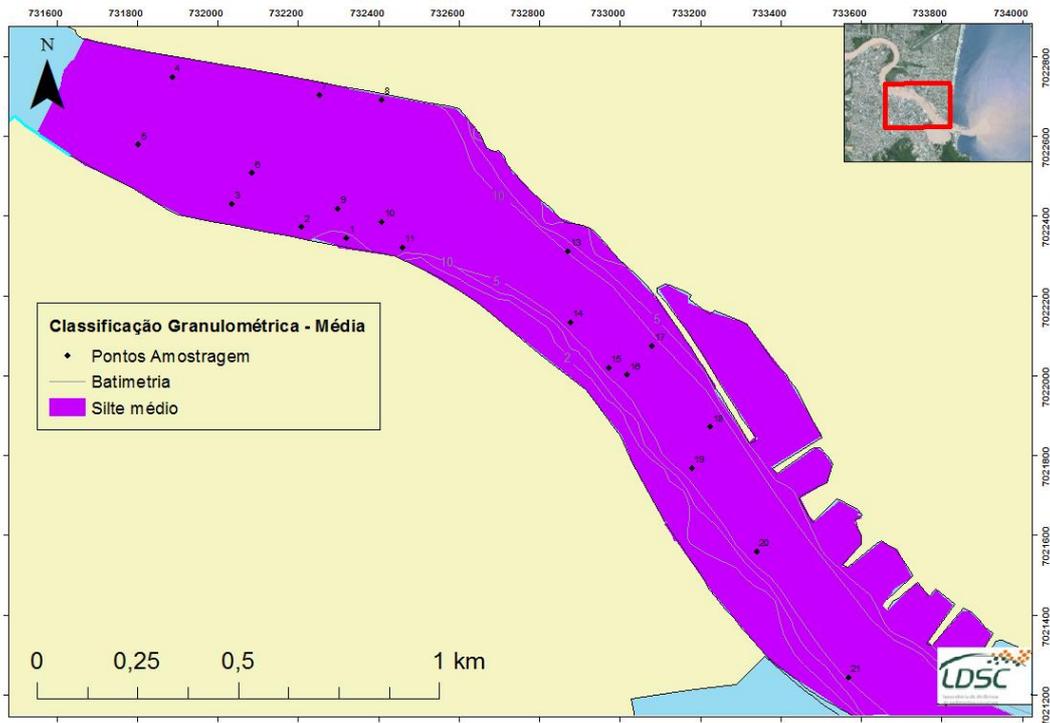


Figura 40 – Mapa de distribuição da média granulométrica (ϕ) das amostras pertencentes a malha a jusante do estuário. De acordo com a classificação de Udden-Wentworth (1922): -1 a 0 (Areia Muito Grossa), 0 a 1 (Areia Grossa), 1 a 2 (Areia Média), 2 a 3 (Areia Fina), 3 a 4 (Areia Muito Fina), 4 a 5 (Silte Grosso), 5 a 6 (Silte Médio), 6 a 7 (Silte Fino), 7 a 8 (Silte Muito Fino), 8 a 9 (Argila Grossa) e 9 a 10 (Argila Média).

Foram analisadas também as ocorrências de frações de diâmetro inferior e superior à média geral das amostras, nas duas malhas. Primeiro foi analisado o teor de areia, como pode ser observado nas Figuras 41 e 42.

No geral, o total de 69 amostras apresentam variação entre 0 e 30% de areia. A malha a montante apresenta uma concentração maior de areia; já a malha a jusante apresenta teores menores, sendo de 3 a 15%. Em ambas as malhas a distribuição da concentração de areia é em média de 6 a 15%, apresentando maiores concentrações na margem sul do canal. Também é possível observar que as menores concentrações se encontram ao leste das malhas, na desembocadura do estuário.

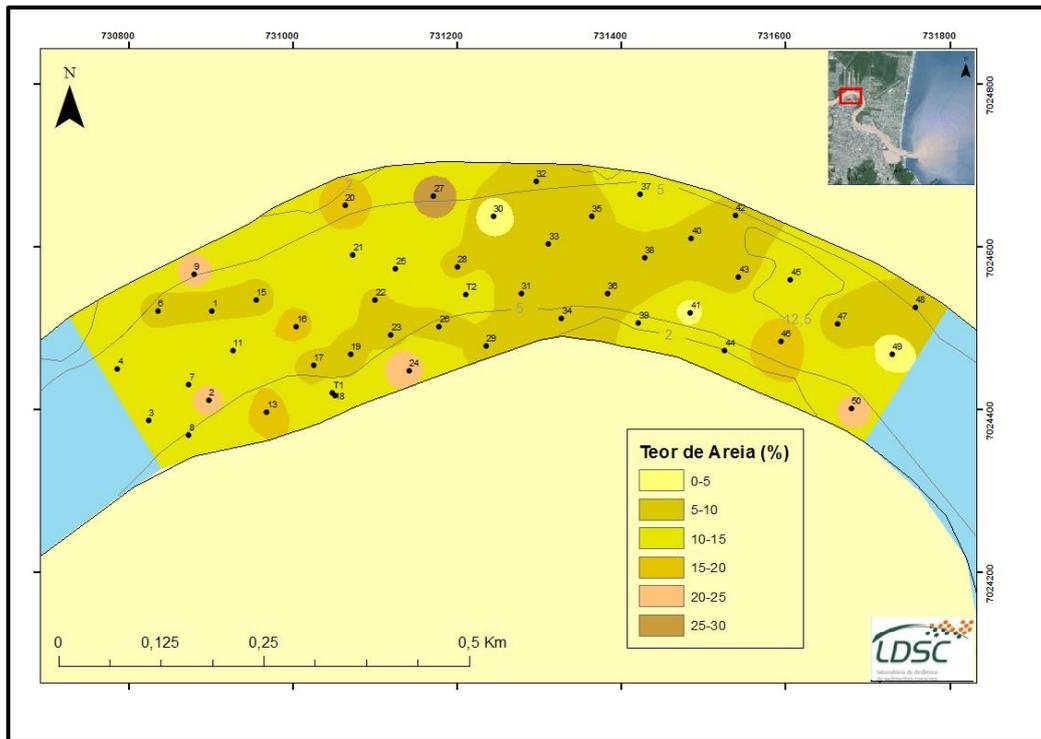


Figura 41 – Mapa de distribuição de areia nas amostras pertencentes à malha a montante do estuário.

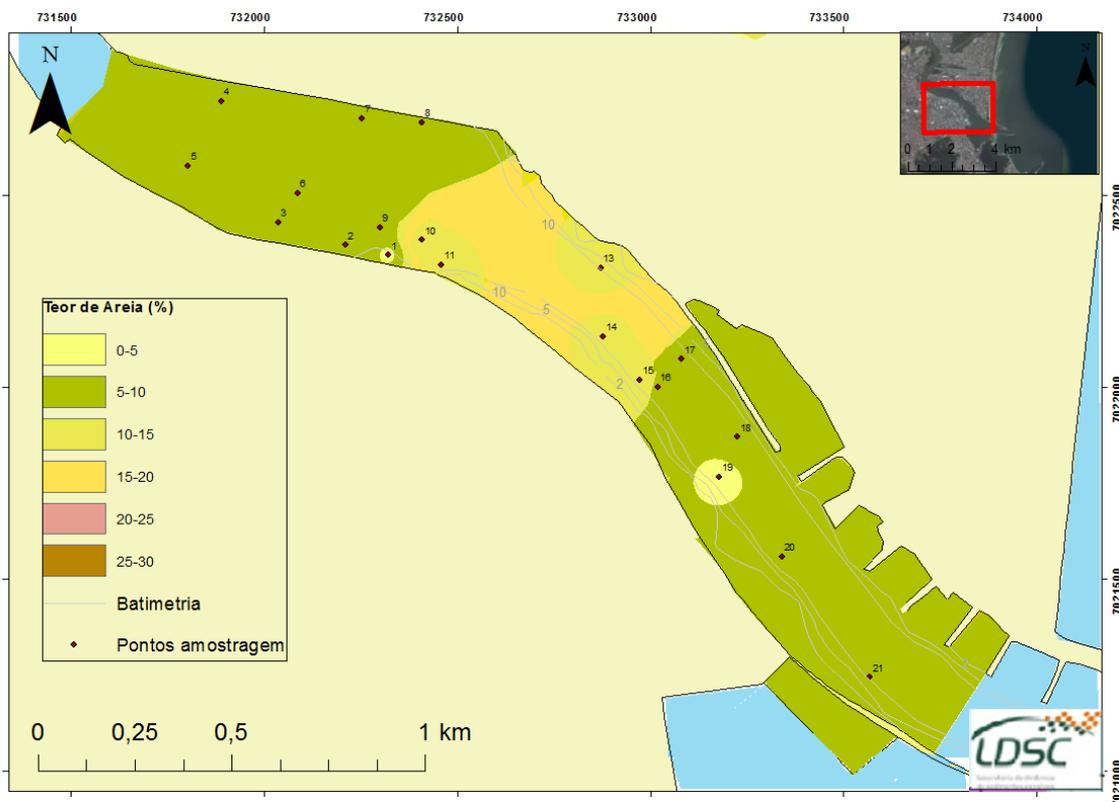


Figura 42 – Mapa de distribuição de areia nas amostras pertencentes à malha a jusante do estuário.

Paralelamente, foi analisado o teor de argila nas amostras, como pode ser observado nas Figuras 43 e 44. No geral, o total de 69 amostras apresentam variação entre 3 e 25% de argila; a malha a montante, 3 a 25% de argila, já a malha a jusante apresenta teores menores, que variam de 5 a 12%.

Em ambas as malhas, a distribuição da concentração de argila é em média de 5 a 10%. Na malha a montante as maiores concentrações estão na parte central do canal, e na malha a jusante estão na desembocadura do estuário (Figuras 43 e 44).

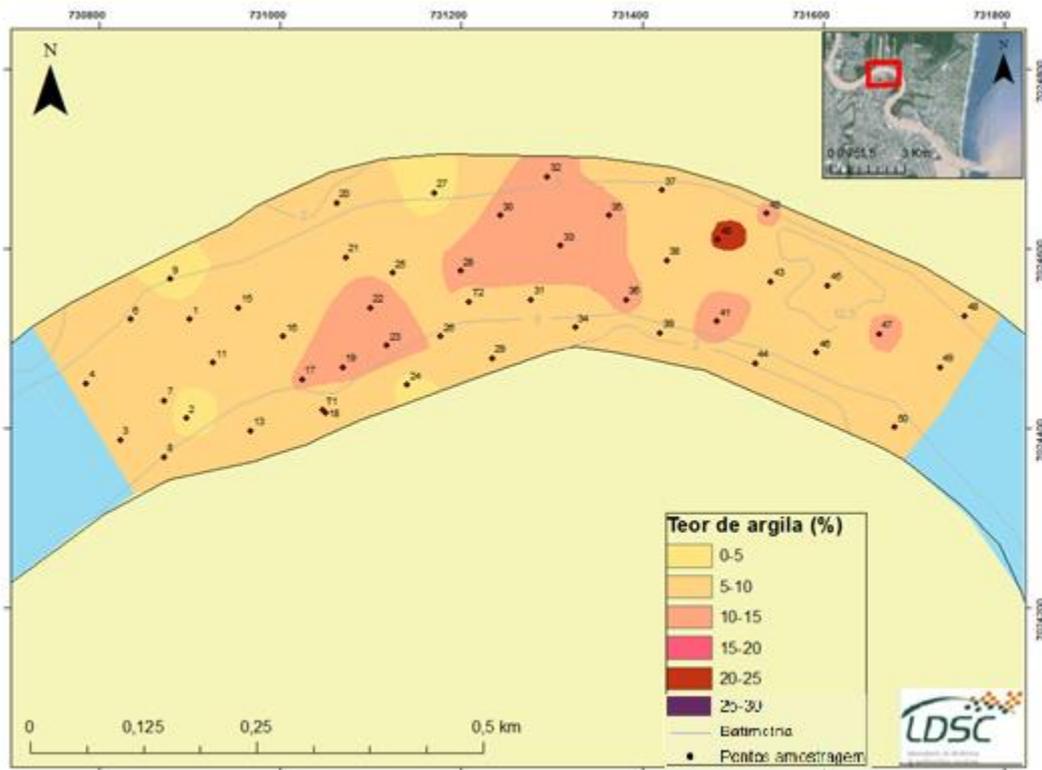


Figura 43 – Mapa de distribuição de argila nas amostras pertencentes à malha a jusante do estuário.

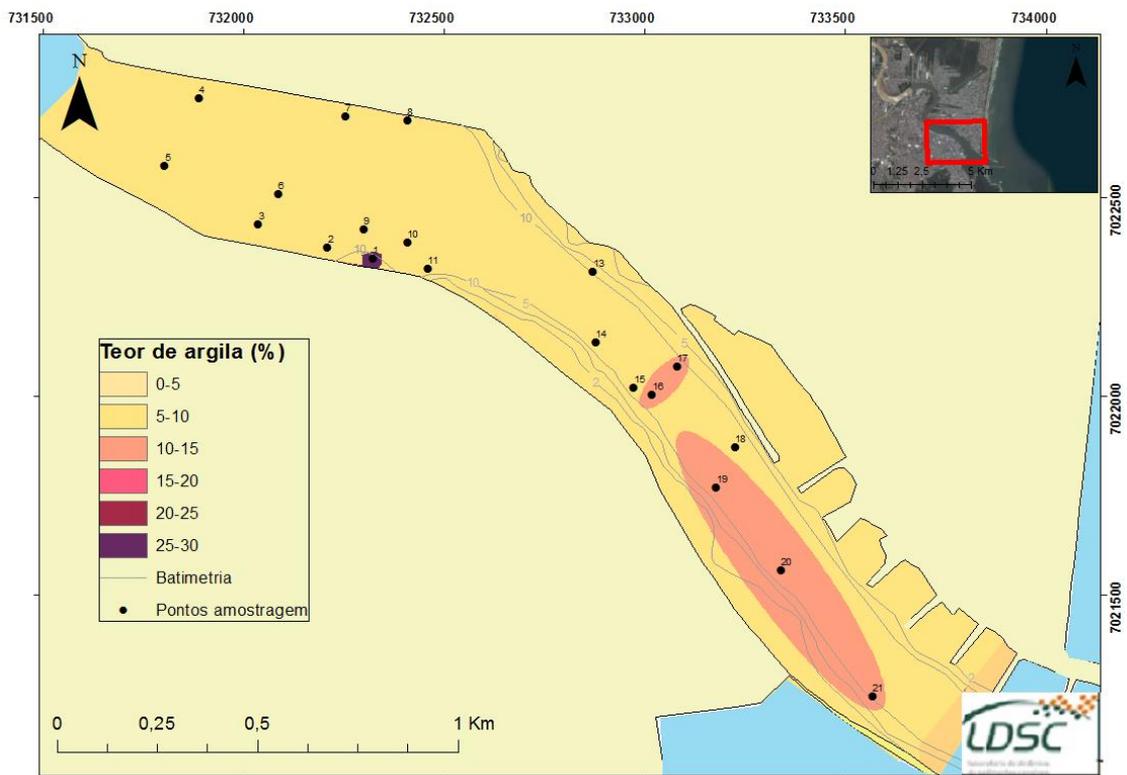


Figura 44 – Mapa de distribuição de argila nas amostras pertencentes à malha a jusante do estuário.

5.3.2 Desvio padrão

Como pode ser observado na Figura 45, as amostras da malha a montante são classificadas em sua maioria como mal selecionadas, com variações pontuais representadas pelas amostras 27, 22, 24, 46 e 50, que são classificadas como muito mal selecionadas. Na malha a jusante, todas as 21 amostras são classificadas como mal selecionadas (Figura 46).

O maior valor de desvio padrão pertence ao ponto 24 (2,12), situado na malha 1, que é classificado como muito mal selecionado, na margem sul do estuário, enquanto o ponto com menor valor de desvio padrão encontra-se na malha 2, na porção central do canal, pertencendo ao ponto 19 (1,62), que é classificado como mal selecionado.

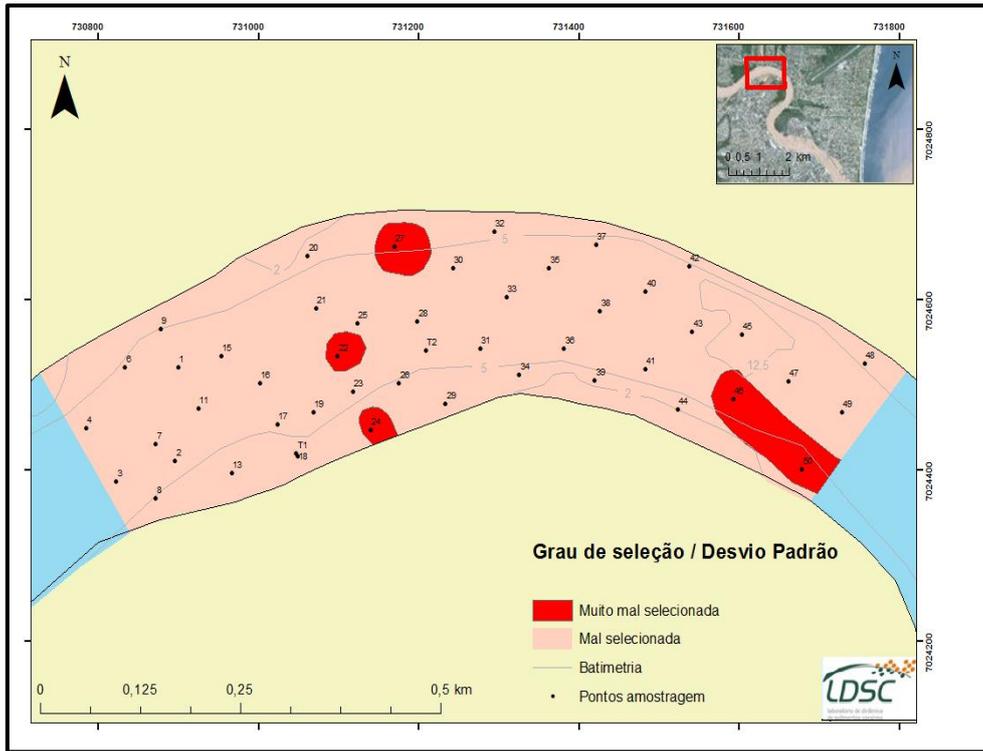


Figura 45 – Mapa de distribuição do desvio padrão, medida de dispersão calculada a partir das amostras de sedimento de fundo coletadas no estuário do rio Itajaí-Açu. De acordo com a classificação de Folk & Ward (1957): 1,0 a 2,0 (Mal Selecionada), 2,0 a 4,0 (Muito mal selecionada).

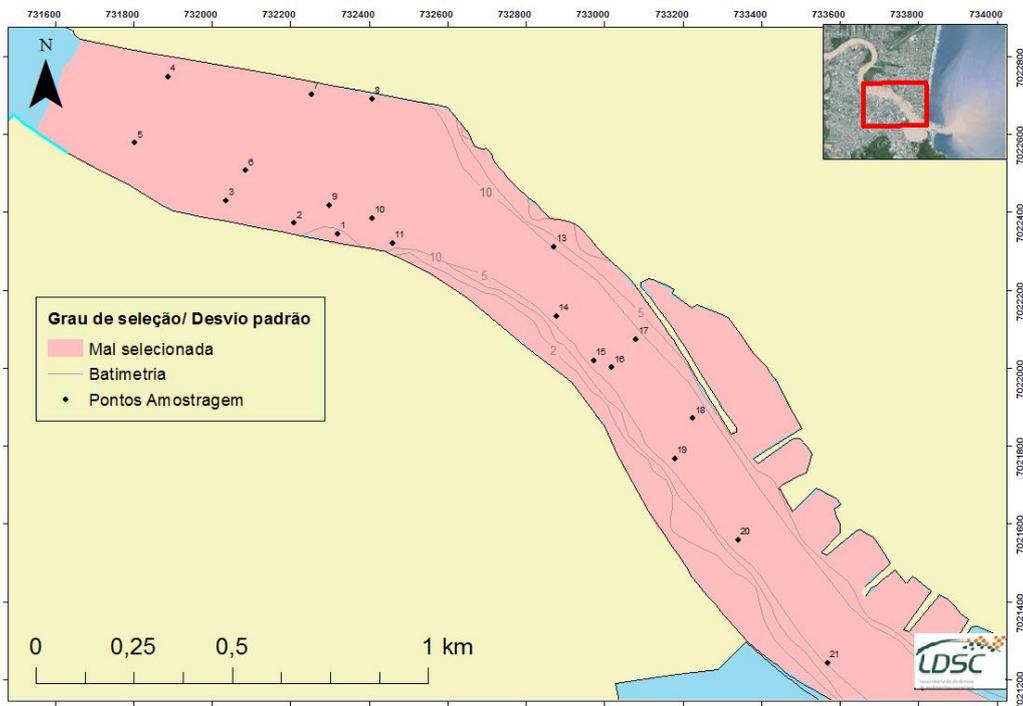


Figura 46 – Mapa de distribuição do desvio padrão, medida de dispersão calculada a partir das amostras de sedimento de fundo coletadas no estuário do rio Itajaí-Açu. De acordo com a classificação de Folk & Ward (1957): 1,0 a 2,0 (Mal Selecionada), 2,0 a 4,0 (Muito mal selecionada).

5.3.3 Assimetria

Quanto à assimetria, todas as 69 amostras são classificadas como simétricas, e apresentam, no geral, valores de assimetria variando entre -0,08 e 0,08, como pode ser observado nas Figuras 47 e 48.

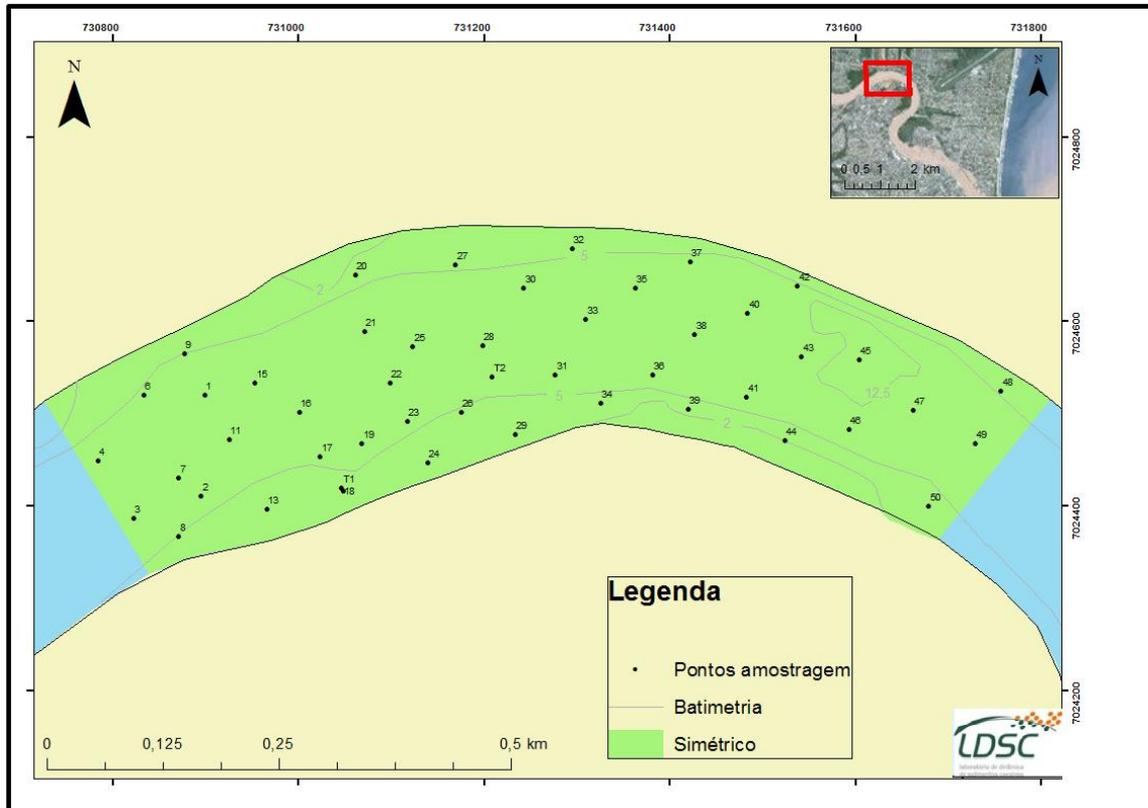


Figura 47 – Mapa de distribuição da assimetria, calculada a partir das amostras de sedimento de fundo coletadas no estuário do rio Itajaí-Açu. De acordo com a classificação de Folk & Ward (1957): -1,0 a -0,3 (Assimetria Muito Negativa), -0,3 a -0,1 (Assimetria Negativa), -0,1 a 0,1 (Quase Simétrica), 0,1 a 0,3 (Assimetria Positiva) e 0,3 a 1,0 (Assimetria Muito Positiva).

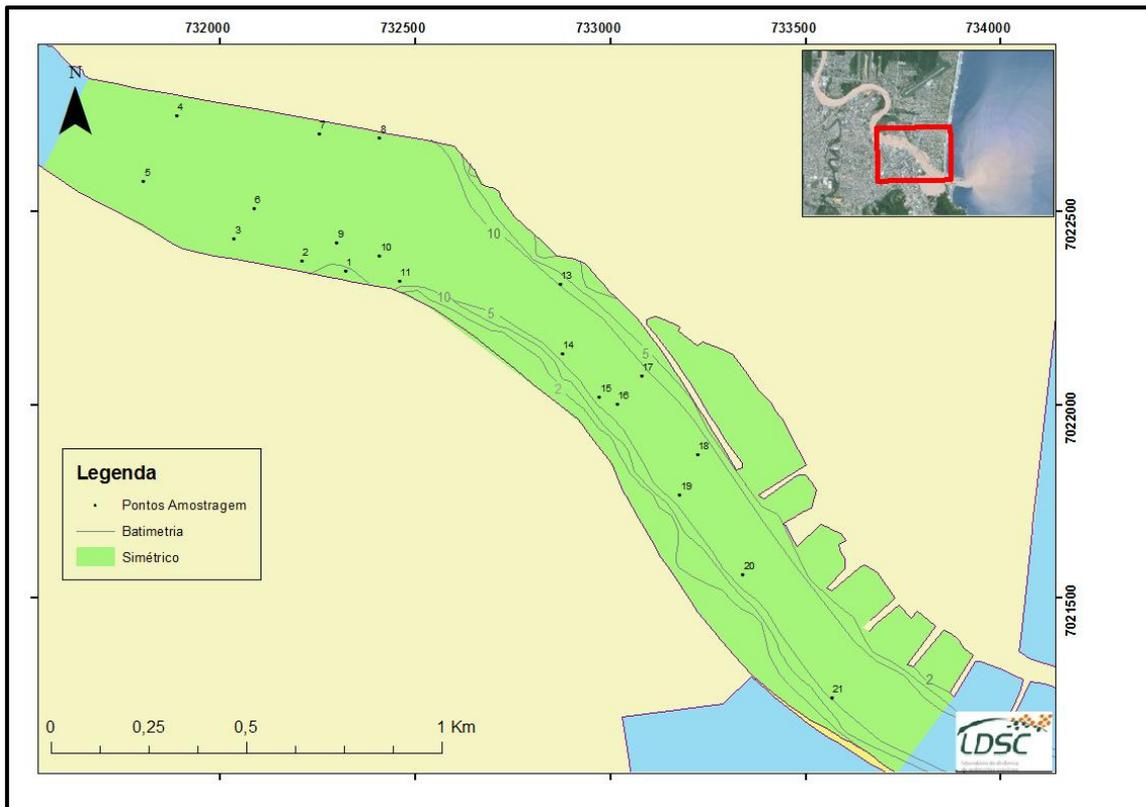


Figura 48 – Mapa de distribuição da assimetria, calculada a partir das amostras de sedimento de fundo coletadas no estuário do Rio Itajaí-Açu. De acordo com a classificação de Folk & Ward (1957): -1,0 a -0,3 (Assimetria Muito Negativa), -0,3 a -0,1 (Assimetria Negativa), -0,1 a 0,1 (Quase Simétrica), 0,1 a 0,3 (Assimetria Positiva) e 0,3 a 1,0 (Assimetria Muito Positiva).

5.4 Tendências de transportes

Por pertencerem a dois projetos distintos, as amostras utilizadas no presente trabalho se distribuem em duas malhas amostrais. Com isso, a tendência de transporte de sedimentos foi aplicada para cada uma das duas malhas individualmente.

5.4.1 Região a montante

No geral, os sedimentos se movimentam das porções mais rasas, nas margens do canal, em direção às regiões mais profundas, no centro do canal, local onde predomina um material mais fino, respondendo bem à batimetria, como pode ser visto nas Figuras 49, 50 e 51.

Ao comparar os três modelos de tendência de transporte aplicados (MCLAREN, 1981; GAO & COLLINS, 1991 e LE ROUX, 1994), é possível observar a similaridade

nos resultados. Apesar do padrão de transporte similar, no modelo bidirecional de Gao & Collins (1991), os vetores se apresentam menos robustos.

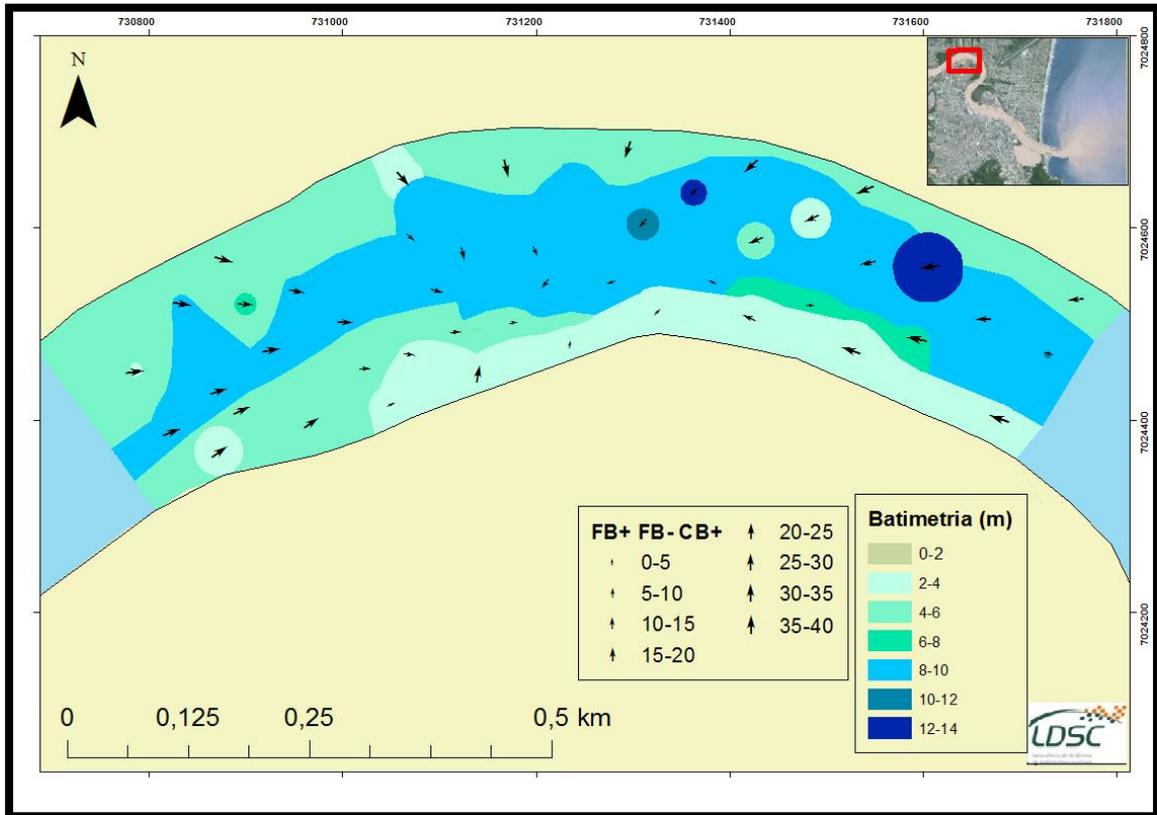


Figura 49 – Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açu, considerando a combinação dos casos FB+, FB- e CB+, em uma grade regular, com espaçamento de 112 m entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. A direção das setas representa o sentido do transporte do sedimento e o tamanho a intensidade do transporte.

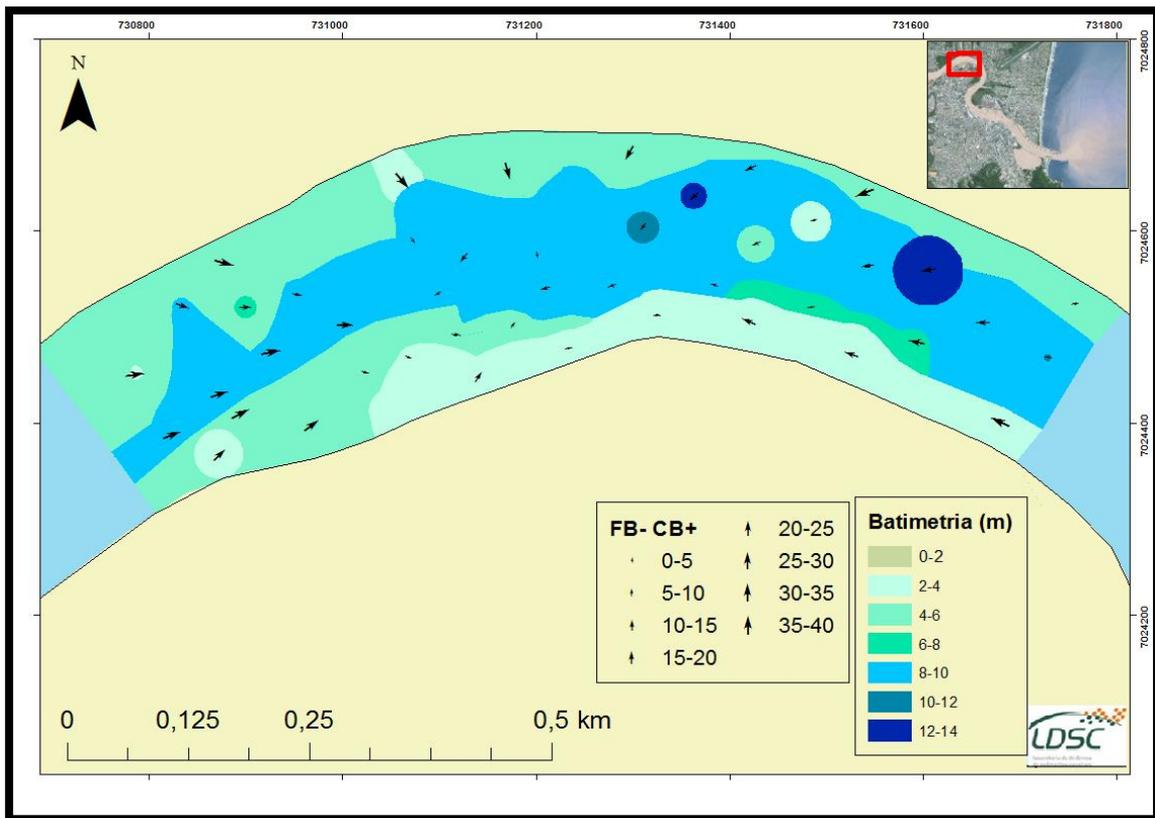


Figura 50 – Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açu, considerando a combinação dos casos FB- e CB+, em uma grade regular, com espaçamento de 112 m entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. A direção das setas representa o sentido do transporte do sedimento e o tamanho a intensidade do transporte.

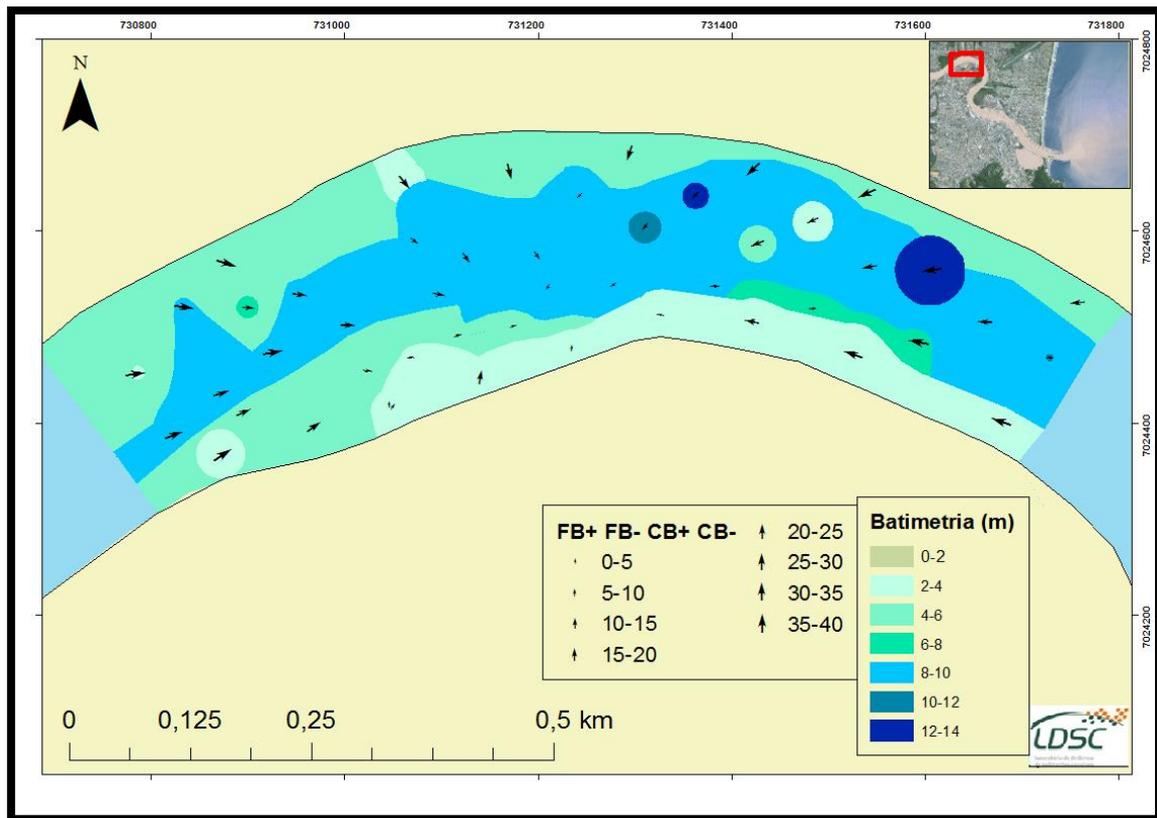


Figura 51 – Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açu, considerando a combinação dos casos FB+, CB+, FB- e CB-, em uma grade regular, com espaçamento de 112 m entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. A direção das setas representa o sentido do transporte do sedimento e o tamanho a intensidade do transporte.

5.4.2 Região a jusante

Os vetores indicam uma movimentação das margens nordeste e sudoeste e das laterais noroeste e sudeste para o centro da malha, como pode ser observado na Figura 52, 53 e 54.

Os vetores com maior intensidade estão localizados próximos à desembocadura do canal, fato que pode estar associado à proximidade do oceano, demonstrando sua influência no local como área fonte. Também ocorre a presença de vetores de grande intensidade a montante da malha. Este transporte para jusante estará associado ao material trazido pela descarga do rio.

Nesta região também pode ser observada a similaridade nos resultados quando comparados os três modelos aplicados. Apesar do padrão de transporte ser similar, no modelo bidirecional de Gao & Collins (1991), os vetores se apresentam menos robustos.

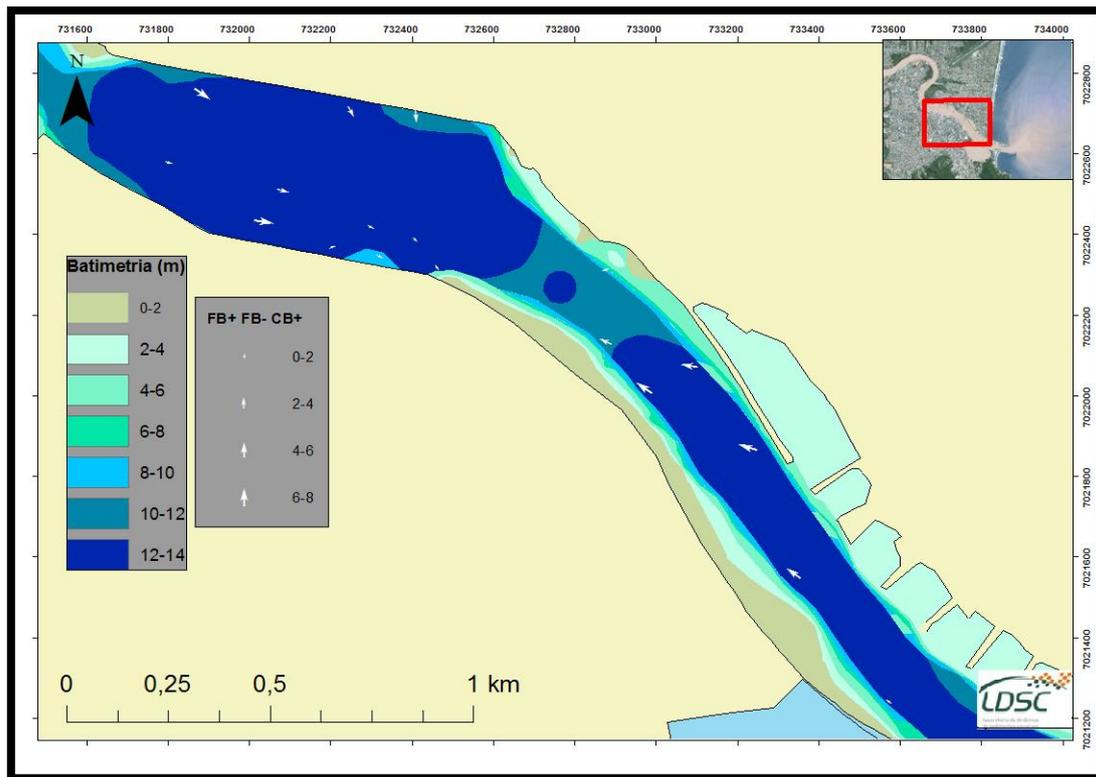


Figura 52 – Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açu, considerando os casos FB- FB+ e CB+, em uma grade regular, com espaçamento de 221 m entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado. A direção das setas representa o sentido do transporte do sedimento e o tamanho a intensidade do transporte.

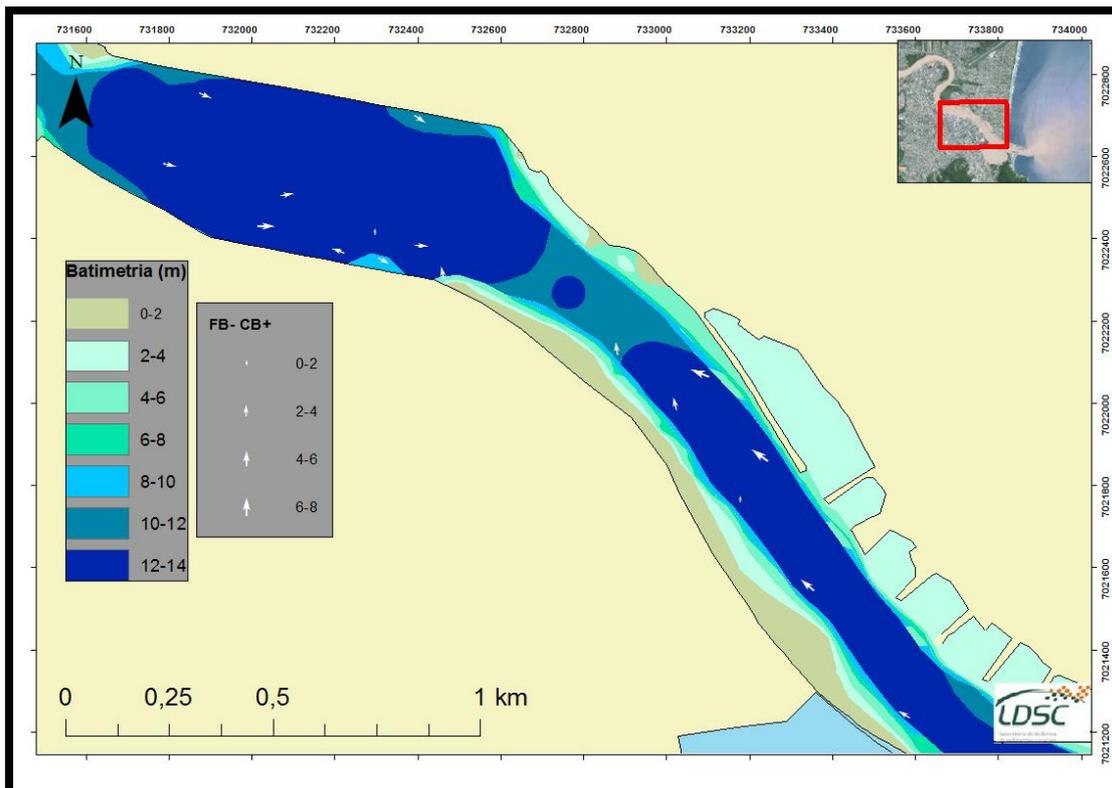


Figura 53 – Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açu, considerando a combinação dos casos FB- e CB+, em uma grade regular, com espaçamento de 221 m entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. A direção das setas representa o sentido do transporte do sedimento e o tamanho a intensidade do transporte.

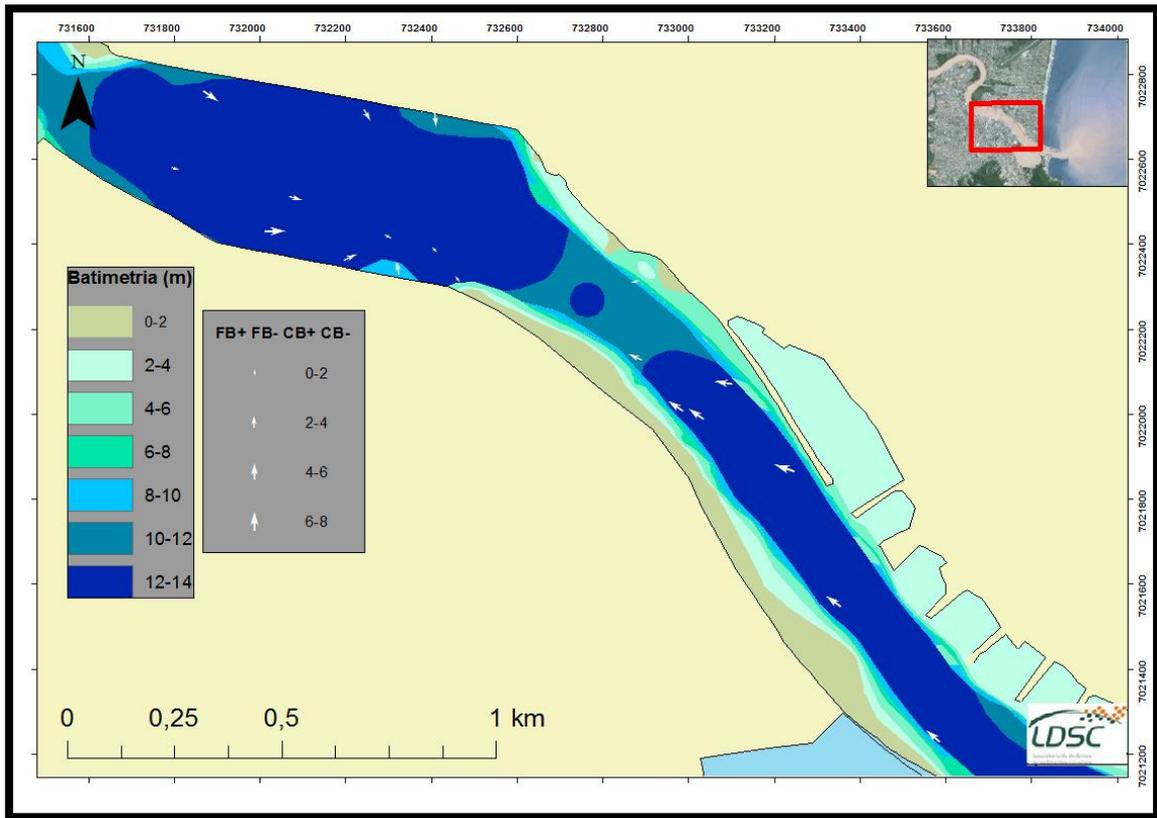


Figura 54 – Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açu, considerando a combinação dos casos FB+, CB+, FB- e CB-, em uma grade regular, com espaçamento de 221 m entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. A direção das setas representa o sentido do transporte do sedimento e o tamanho a intensidade do transporte.

6 MALHAS INTEGRADAS

Com o objetivo de abranger uma região geográfica maior e observar essas tendências de transporte ao longo do estuário do rio Itajaí-Açu, os padrões também foram analisados com as malhas em conjunto. Neste caso, o padrão de transporte nas duas malhas mostra disparidades entre a região ao leste da malha a montante e oeste da malha a jusante, como pode ser visto na Figura 55.

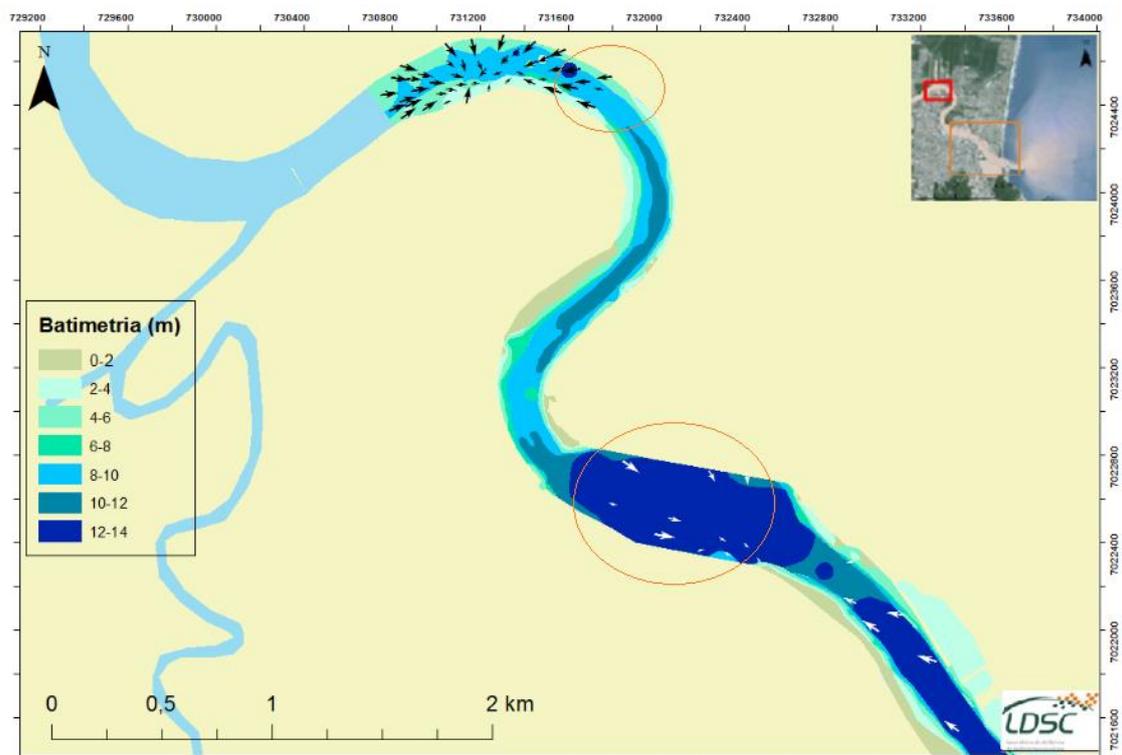


Figura 55 – Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açu, considerando os casos FB- FB+ e CB+, que foi o modelo que melhor representou o fluxo de sedimentos da região, em uma grade regular, obtido através do programa GiSedTrend. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado. Em destaque estão as bordas leste e oeste das malhas, que apresentam incoerência na direção de transporte.

Com base na classificação dos sedimentos realizada por Schettini (2002) – que define serem os sedimentos até 7 km a montante da desembocadura do rio Itajaí-Açu compostos predominantemente por depósitos argilosos (sendo que a fração argila é superior a 70%), traços de areia e silte – foi criada uma terceira malha hipotética entre

as duas malhas já discutidas, a fim de se obter um resultado mais consistente com uma malha amostral de maior recobrimento espacial.

A terceira malha conta com um total de 39 amostras e espaçamento de 112 m, igual ao da malha a montante, como pode ser observado na Figura 56. Os parâmetros estatísticos granulométricos (média, desvio padrão e assimetria) foram determinados com uma continuidade proporcional aos valores estatísticos das amostras localizadas nas bordas das malhas, são elas: 50, 49 e 48 localizadas na borda leste da malha a montante, e das amostras 3, 6 e 7 localizadas na borda oeste da malha a jusante.

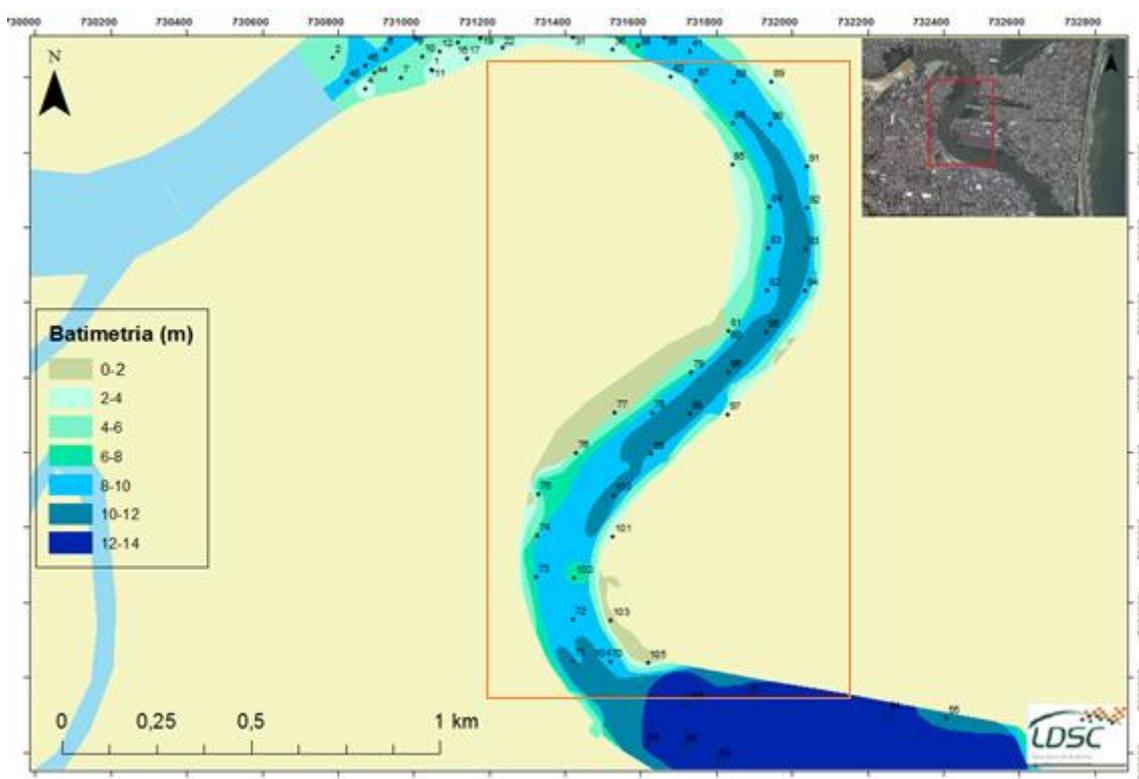


Figura 56 – Em destaque, malha amostral definida entre a malha a montante e jusante. Apresenta um total de 39 amostras e espaçamento médio de 112 m.

Com base em dados da literatura, a granulometria dos sedimentos e os parâmetros estatísticos se apresentam constantes ao longo do canal. De acordo com estudos realizados por Souza (2007), amostras coletadas ao longo do canal de Itajaí, nos pontos 28, 29 e 30, como pode ser observado na Figura 57, apresentaram valores estatísticos de média, desvio padrão e assimetria dentro da classificação das amostras coletadas e classificadas no presente trabalho, como pode ser visto na Tabela VI.

TABELA VI – Parâmetros estatísticos das amostras 28, 29 e 30 do trabalho de Souza (2007)

Amostra	Lat	Long	M	Dp	Ass	Kur	Folk and Ward, 1954	Shepard, 1973
28	-26,8881	-48,7714	6,01	2,65	0,38	0,86	Silte fino	Silte arenoso
29	-26,8397	-48,7247	4,63	2,14	0,58	1,89	Silte grosso	Areia siltica
30	-26,8845	-48,6867	7,44	2,83	-0,02	0,71	Silte muito fino	Argila siltica

Fonte: Souza (2007).



Figura 57 – Pontos de coleta de amostras no canal do rio Itajaí-Açu realizados no trabalho de Souza (2007).

Na Figura 58 pode ser observado um dos casos de tendência de transporte, quando processadas as três malhas em conjunto. Na região próxima à desembocadura do estuário, a influência da maré é grande e faz com que todo o material siga em direção à montante do rio. Os vetores encontram-se mais robustos, pois estão próximos ao oceano, demonstrando sua influência.

Na região a montante da malha, é possível observar que o transporte dos sedimentos segue em direção à jusante do estuário, com tendência a se concentrar na margem sul, que apresenta menor profundidade. Este fluxo de vazante está associado à influência da descarga fluvial no local, além da sua proximidade da área fonte, que é o rio Itajaí-Mirim, refletida também na robustez dos vetores. Em todos os casos de tendência aplicados, o padrão de transporte já descrito é similar, vide Anexo 1.

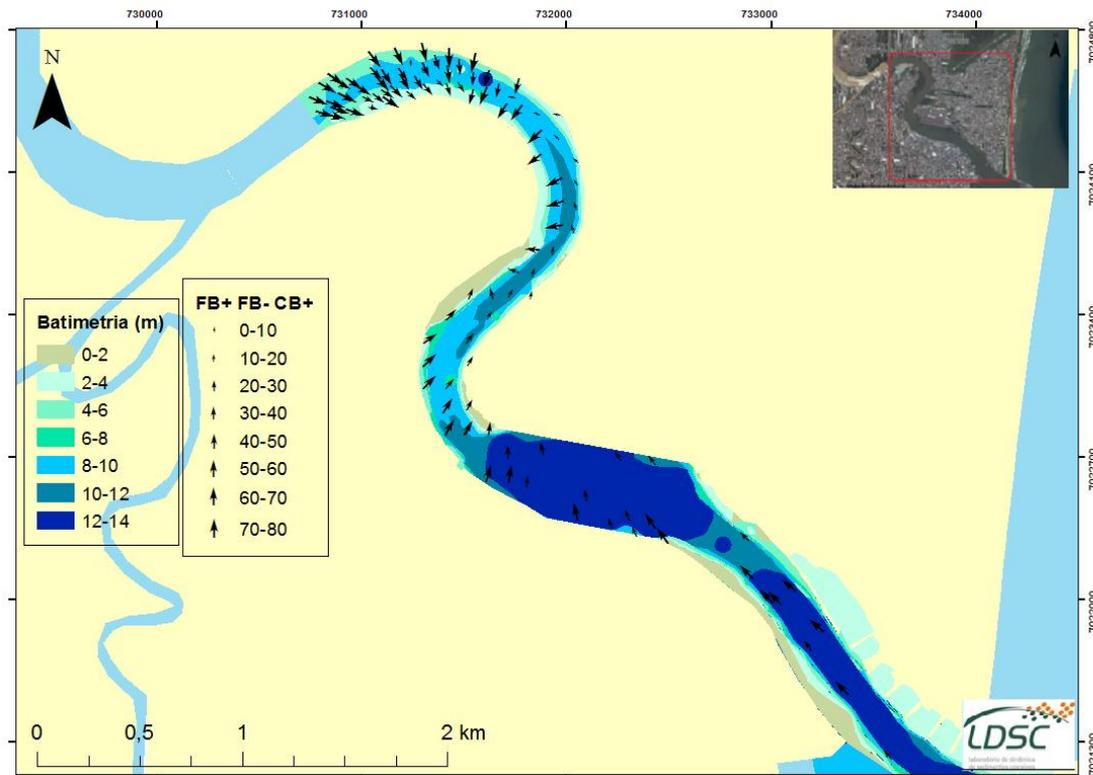


Figura 58 – Malha amostral definida com a união da malha a montante e a jusante descritas no início do trabalho. Esta malha conta com um total de 108 amostras com um espaçamento de 112 m e aproximadamente 4 km de extensão.

Em rios meandrantos, como o aqui estudado, tende a ocorrer migração lateral dos canais através da erosão progressiva das margens côncavas e sedimentação nas convexas, podendo formar barras em pontal com superfície de acreção lateral, planícies de inundação, depósitos de canal, dique marginal, depósito de rompimento do dique e meandros abandonados, como pode ser visto na Figura 59 (Uhlein *et al.*, [2011?])

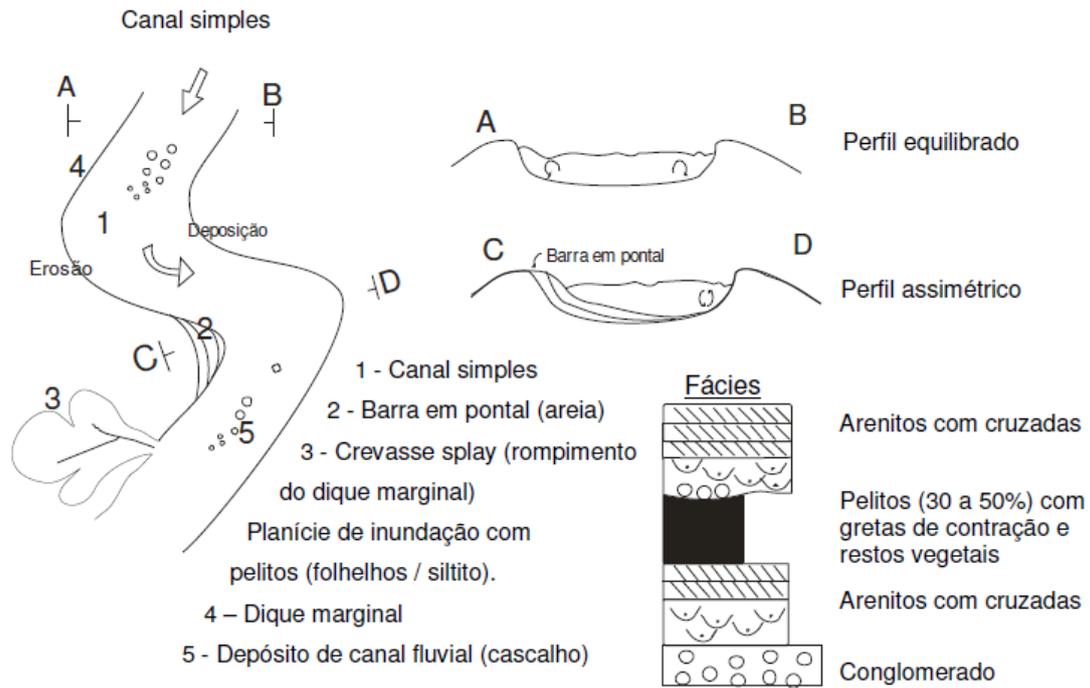


Figura 59 – Sedimentação em rios meandrantos. *Fonte: Uhlein et al. [2011?].*

Nos modelos apresentados nos Anexos 2 A, 2B e 2C é possível observar a presença de sedimentação no tipo meandrante, na parte central da malha, como pode ser visto na Figura 60, onde o material tende a convergir para as margens convexas.

Nesta região central, a sinuosidade do canal é intensa, o que pode acarretar em um maior acúmulo de sedimentos. Este pode influenciar no resultado do modelo, pois como o material tende a assorear nesta região, o transporte é menos intenso, apresentando constante deposição e fazendo com que os vetores não estejam dispostos perfeitamente.

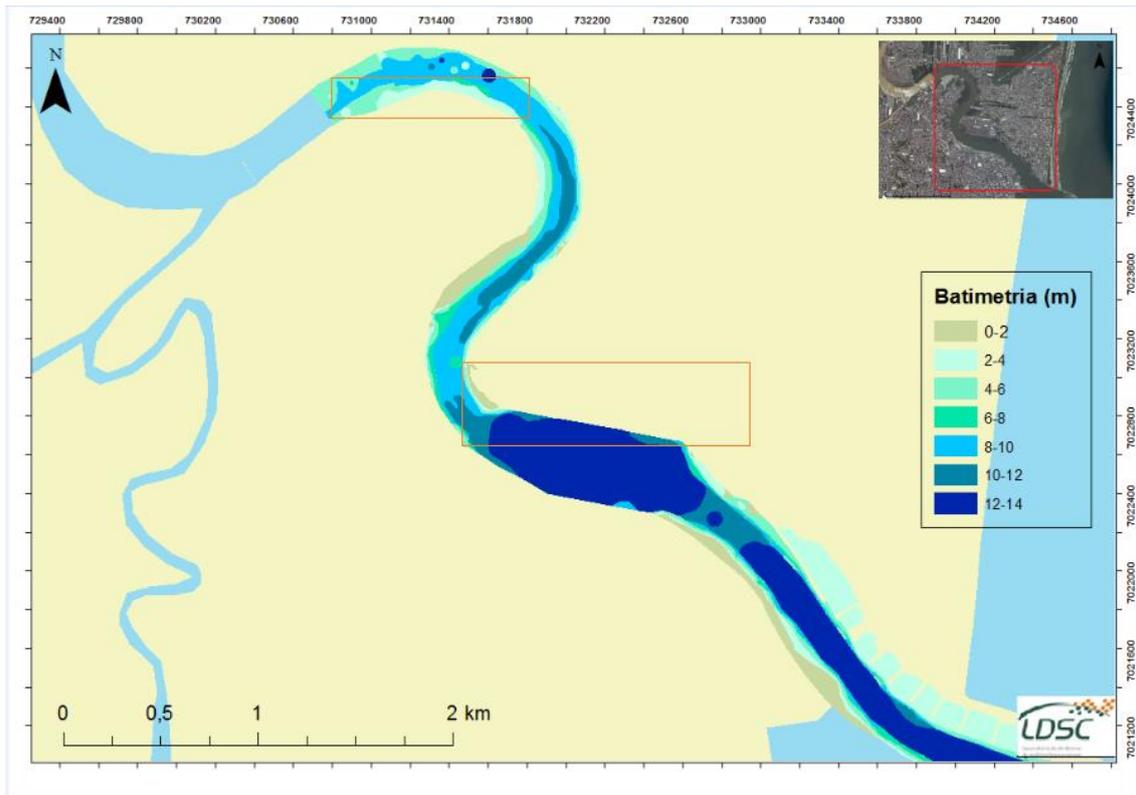


Figura 60 – Imagem que mostra os aspectos morfométricos do curso inferior do rio Itajaí-Açu. Em destaque, os locais de deposição fluvial onde a profundidade do canal tende a ser menor.

A robustez dos resultados apresentados quando se unem às duas malhas é maior, pois apesar do material considerado ser fino e os parâmetros estatísticos homogêneos, o recobrimento espacial da malha é maior, chegando a uma área de 4 km, fato este que diminui os efeitos de borda e problemas de contorno.

7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1 Distribuição dos parâmetros granulométricos

Com a classificação das 69 amostras do estuário do rio Itajaí-Açu, percebemos que os sedimentos são predominantemente classificados como silte médio. A área de estudo representa uma região onde no geral os sedimentos finos predominam, mostrando que a contribuição das bacias de drenagem pode estar relacionada com variações sazonais de pluviosidade e vazões dos rios afluentes (Figura 61).

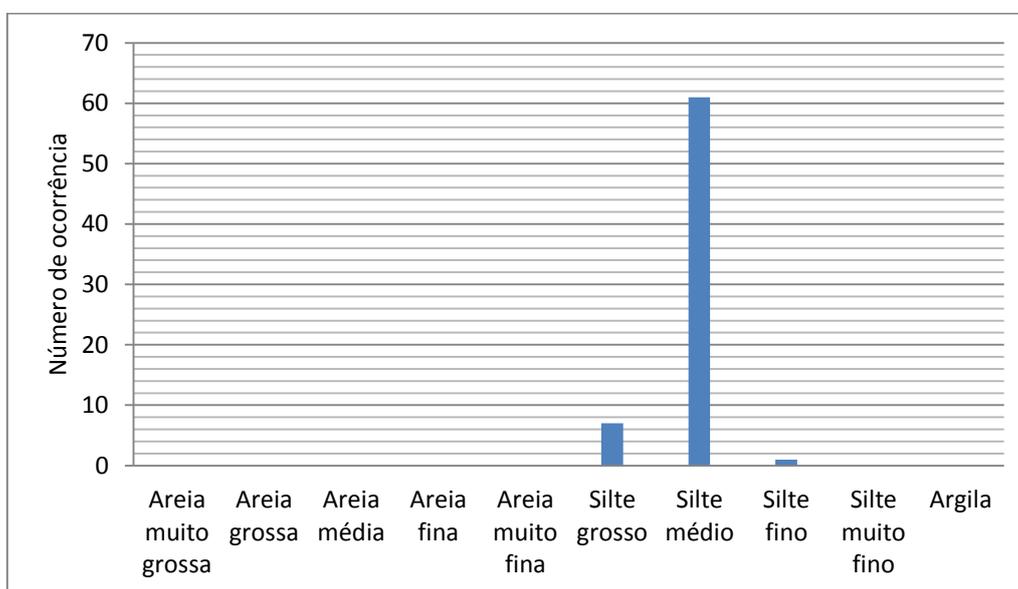


Figura 61 – Classificação dos sedimentos das malhas a montante e a jusante do estuário do rio Itajaí-Açu.

Os locais com menor profundidade, aproximadamente de 2 a 3 m, estão relacionados a um maior teor de areia e locais mais profundos, aproximadamente 9 a 12,5 m, com maior teor de finos (argila + silte). Já na malha a jusante, onde a profundidade varia de 1 a 15 m, podemos observar uma maior concentração de areia, na parte central da malha, na região de maior sinuosidade.

Os maiores teores de argila ocorrem concentrados mais a jusante da malha, próximo à desembocadura do canal, além de pontos isolados, de maior profundidade, ao longo da malha, como a amostra 1 (10,72% de argila e 4,8% de areia) na margem sul localizada a montante. Este fato é indicador que a principal fonte de sedimentos é o rio,

depositando inicialmente areia e depois as argilas em direção a jusante. Além disso, na malha a montante, o teor de areia, com média de 8.6%, é maior que o teor de argila, com média de 8.4% enquanto que, na malha a jusante, o teor de areia possui uma concentração média de 7,7% e de argila 8,19%, caracterizando uma maior concentração de finos, podendo demonstrar também a influência dos rios tributários na região.

Quando os sedimentos em suspensão alcançam a região estuarina, onde já há efeitos oscilatórios em função da maré, a reversibilidade das correntes provoca períodos de baixas velocidades, em que os sedimentos se depositam ao fundo e podem ser novamente suspensos em um novo ciclo de maré (DYER, 1995).

Na malha a jusante, a influência da maré é ainda maior. Portanto, esta área está altamente associada a variações de salinidade. Quando há concentração suficiente de sal em uma suspensão de partículas argilosas, estas passam a apresentar características coesivas, ou seja, ocorre atração entre as partículas, formando flocos e, conseqüentemente, aumentando sua velocidade de deposição (DYER, 1995), fato que pode explicar o alto caráter de finos nesta malha. Além disso, a distância da área fonte também justifica o caráter fino.

Observou-se na malha a montante que o teor de areia tem pontos com maior concentração próxima à desembocadura do rio Itajaí-Mirim, classificados como mal selecionados, e nas margens em ambos os lados do canal, classificados como muito mal selecionados. Portanto, a má seleção está associada a maior concentração de sedimentos grossos (areia) em torno da média (silte médio). Na malha a jusante, o teor de areia apresenta uma distribuição homogênea ao longo de toda a malha, com uma concentração maior na parte central.

Segundo Pereira *et al.* (2008), muitas vezes é possível associar ambientes de alta energia com sedimentos bem selecionados, pois a dinâmica local consegue agrupar os grãos segundo seu diâmetro médio, enquanto que sedimentos mal selecionados geralmente representam ambientes de baixa energia pela ineficácia dos agentes em distribuir o sedimento segundo seu tamanho médio. Por isso, em geral, sedimentos grossos são mal selecionados, fato que pode ser observado no presente trabalho.

Quando comparamos o trabalho com outros casos de tendências de transporte, observamos, como no caso de Paranaguá (PR), que o método responde com mais dificuldade quando se trata de sedimentos finos, nos quais os vetores de menor

intensidade se encontram na fração mais fina, assim como os encontrados na malha interna neste trabalho.

Já no caso da Baía de Guanabara (RJ) os vetores são mais robustos, pois os sedimentos que predominam são da fração areia e cascalho. No caso de Hylebos Waterway (EUA), os vetores apresentaram-se robustos apesar da alta fração fina no material. Este fato pode estar associado à grande mistura deste material fino a materiais mais grossos e ao maior recobrimento espacial da malha.

7.2 Tendência de transporte de sedimentos

Em geral, os modelos de tendência de transporte analisados apresentaram semelhanças. O modelo de Gao & Collins (1991) é o que tem maior contraste em relação aos outros, como é possível observar na Figura 50 mencionada anteriormente. A quantidade de vetores gerados é bem menor, assim como sua robustez.

Já os modelos de McLaren (1991) e Le Roux (1994) apresentam similaridades quando comparados. Apesar disso, o modelo de Le Roux (1994) pode não representar o mais indicado para o uso na região porque os casos CB+ CB- FB+ e FB- analisados em separado não apresentam robustez nos vetores.

Apesar de indicarem mesma direção, alguns vetores no modelo McLaren (1981) apresentam maior robustez que os vetores do modelo de Le Roux (1994).

Portanto, dentre os três modelos apresentados, aqueles que possuem vetores com maior robustez estatística é o modelo de McLaren (1981), que realiza a combinação dos casos CB+, que indica que o depósito se torna mais grosso que a fonte, com melhor seleção e assimetria positiva; o caso FB-, que indica que o depósito se torna mais fino que a fonte, com melhor seleção e assimetria negativa; e o caso FB+, que indica que o depósito se torna mais fino, melhor selecionado e de assimetria negativa. É um modelo unidirecional e é utilizado para malhas regulares, como é o nosso caso.

No geral, nas duas malhas, o padrão de transporte indica uma movimentação das margens, que possuem profundidade mais baixa, em torno de 2 a 6 m, em direção ao centro do canal, que possui maior profundidade, em torno de 8 a 12 m, podendo chegar a 14 m em um ponto específico próximo à desembocadura. Isso mostra que o transporte de sedimentos responde bem à batimetria do canal, indo das regiões onde o fluxo apresenta menor energia para a região onde vai ser transportado por suspensão a uma energia maior.

Deve-se ter cuidado com relação à presença de sedimentos coesivos e processos de floculação, de sedimentos reliqueares e com a definição das escalas espacial e temporal. Em ambientes com alto percentual de siltes e argilas e em condições apropriadas para a ocorrência massiva de floculação desses sedimentos, o modelo pode apresentar problemas. No entanto, os modelos já foram utilizados com sucesso em ambientes com presença de lamas (MCLAREN & BOWLES, 1985; CHANG *et al.*, 2001, 2004; DUMAN *et al.*, 2004).

Nestes casos de sucesso em ambiente com lamas, os autores citados acima ressaltam que um único vetor não pode indicar a direção de transporte absolutamente, mas são os padrões gerais obtidos que fornecem informações sobre os caminhos de transporte de sedimentos. Quando esboçamos caminhos principais de transporte de sedimentos, pode não ser apropriado seguir meramente cada um dos vetores na interpretação. Outras informações sobre transporte também devem ser consideradas, como hidrodinâmica local, fenômenos oceanográficos, precipitação, entre outros. Além disso, nenhum dos quatro casos de sucesso citados acima apresenta uma homogeneidade granulométrica e estatística tão grande quanto a do estuário do rio Itajaí, estando sempre associados a frações de tamanho maior quando observado o padrão geral das malhas amostradas. As regiões estuarinas devem ser compreendidas como receptoras naturais dos sedimentos carregados pelas bacias hidrográficas a montante, caracterizando-se como área natural de assoreamento (PERILLO, 1995 *apud* CARNEIRO, 2013), fato apresentado nestes dados do estuário de Itajaí.

Como anteriormente discutido por Perillo & Syvitski (2010) e Carneiro (2013), a capacidade de retenção de sedimentos destes ambientes é dada pelas suas características geomorfológicas e dinâmicas, que são uma função do espaço disponível para a sedimentação e do balanço sedimentar. Os sedimentos que chegam aos estuários através do aporte fluvial, geralmente são uma mistura heterogênea de tamanhos e composição que refletem a disponibilidade das áreas fonte e a convergência entre dois ambientes bastante energéticos (os rios e a costa adjacente exposta às ondas), o que acaba por ter uma função de amortização da energia (DYER, 1989; 1995; 1997). De acordo com estudos realizados por Pion (2017), observa-se que o grande influenciador da dinâmica da região é a descarga fluvial. Por ser um estuário de cunha salina, em determinadas condições de maré, ocorre corrente marginais de enchente.

Em condições de descarga em torno de 300 m³/s, a penetração de água marinha alcança aproximadamente 18 km a montante da barra. Com o aumento da descarga para valores superiores a 1.000 m³/s, a água salgada é totalmente expulsa da bacia estuarina (DOBEREINER, 1985 *apud* SCHETTINI, 2002). Como é possível observar na Figura 62, a velocidade das correntes entre os anos de 2006 e 2012 variou entre 0,28 m/s e 0,46 m/s no decorrer do ano.

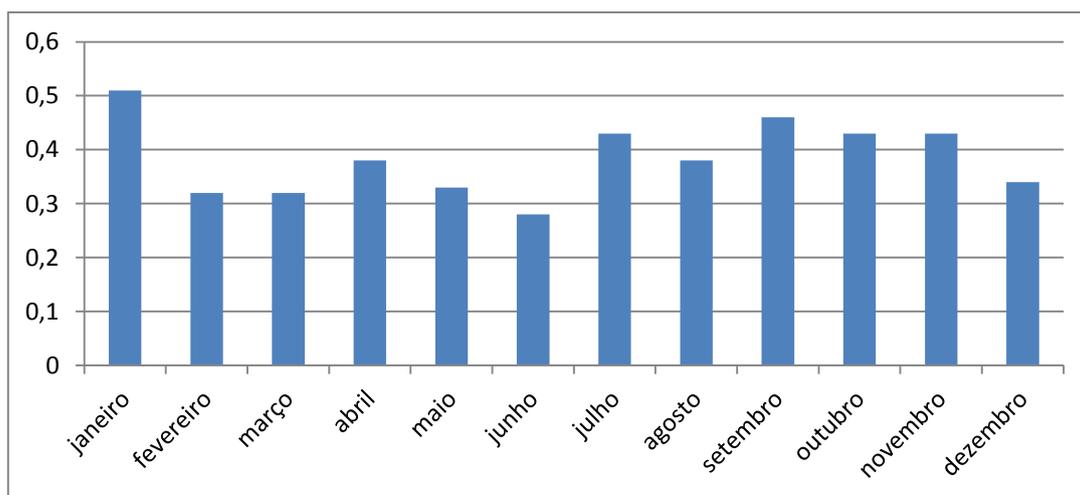


Figura 62 – Média da velocidade das correntes no estuário do Rio Itajaí-Açu entre os anos de 2012 e 2016.

De acordo com os dados de correntes de Fachi (2016), no estuário do rio Itajaí-Açu, a corrente residual é de vazante, como pode ser visto na Figura 63. O que enfatiza a grande influência da descarga fluvial na região.

Desembocadura/ Sizígia (2014)			Desembocadura/ Quadratura (2014)		
Vazante	Enchente	Residual	Vazante	Enchente	Residual
0,3	0,15	0,15	0,21	0,1	0,11
0,42	0,17	0,25	0,17	0,2	-0,03
0,35	0,15	0,2	0,2	0,1	0,1
0,45	0,17	0,28	0,18	0,1	0,08
			0,21	0,05	0,16
			0,15	0,2	-0,05
			0,17	0,01	0,16
			0,12	0,1	0,02

Figura 63 – Velocidade das correntes de vazante e enchente coletadas na desembocadura do rio Itajaí-Mirim, no ano de 2014, em períodos de sizígia e quadratura e velocidade residual resultante. Fonte: Fachi (2016).

Outro fator a ser considerado no entendimento do fluxo de sedimentos ao longo do estuário são as condições de maré. De acordo com dados obtidos no site da Marinha do Brasil, a maré meteorológica nos dias em que ocorreram as duas campanhas era negativa, como pode ser visto nas Figuras 64 e 65, enfatizando a possibilidade de um fluxo de vazante no canal.

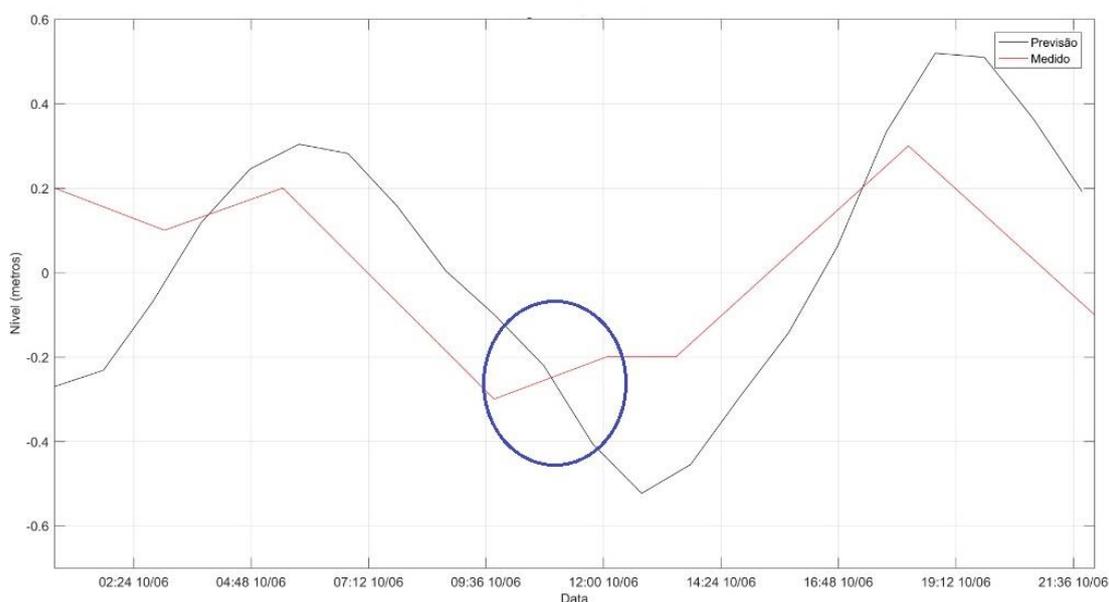


Figura 64 – Dados de maré prevista e medida no dia 10 de junho de 2016, data da coleta das amostras da malha a jusante do estuário do rio Itajaí-Açu.

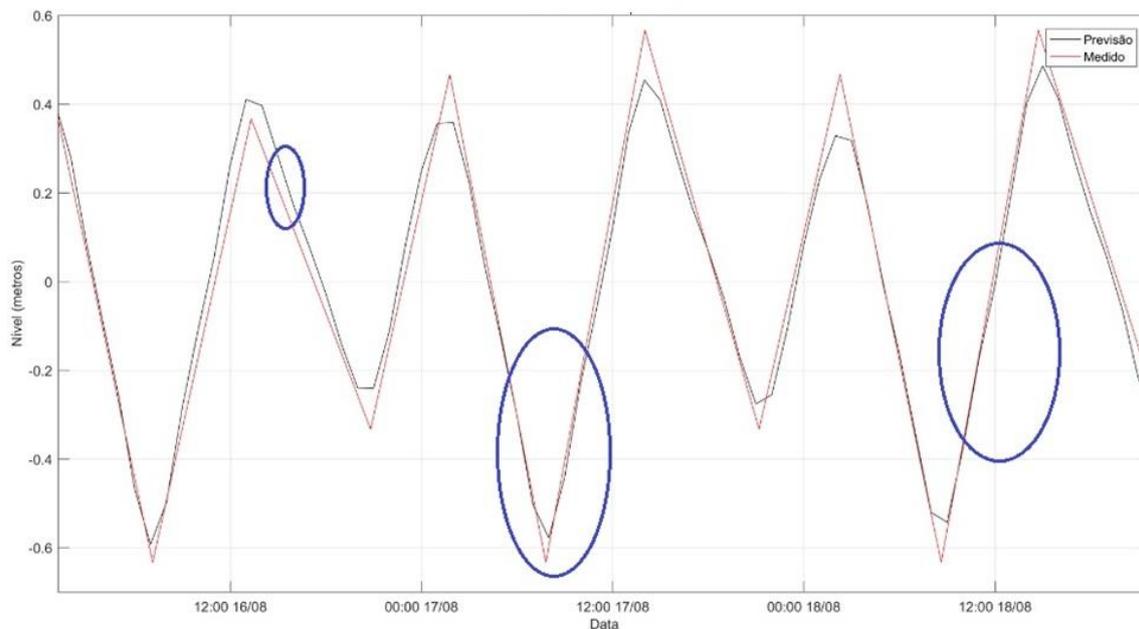


Figura 65 – Dados de maré prevista e medida nos dias 16, 17 e 18 de agosto de 2016, data da coleta das amostras da malha a montante do estuário do rio Itajaí-Açu.

Levando em consideração as limitações do método, as condições hidrodinâmicas da área, as condições sobre o qual o método de tendência de transporte foi aplicado e analisando o padrão geral de transporte que os modelos resultaram, acredita-se que três principais fatores possam ter influenciado nos vetores resultantes, alterando os resultados esperados. São eles: efeitos de borda, espaçamento amostral e recobrimento espacial da malha e o caráter fino do material analisado. A fim de se entender o papel destes parâmetros nos resultados, vários testes foram realizados.

Na malha a montante, que possui um recobrimento espacial de 1 km, o espaçamento amostral foi de aproximadamente 112 m; já a malha a jusante, com recobrimento espacial de 2 km, o espaçamento amostral foi de 221 m. Desta maneira, é possível notar que a escala de análise de ambas as malhas foi diferente. A malha a montante, apesar de ser menor, tem um recobrimento espacial maior que a malha a jusante e, além disso, a malha a jusante apresenta uma profundidade maior que a malha a montante, tornando difícil a comparação e associação entre as duas malhas. Na verdade, uma análise do funcionamento do método é feita em cada malha em separado e posteriormente as duas malhas são analisadas em conjunto a fim de se tentar entender a dinâmica estuarina como um todo.

A malha a montante possui um recobrimento espacial pequeno quando comparado a outros casos de aplicação dos modelos. Este fator pode vir a causar efeitos de borda, que acaba gerando vetores que representam resultados pontuais.

Além da relação entre o tamanho da malha e o recobrimento espacial nela para a modelagem da tendência de transporte, outro fator a ser considerado é a granulometria dos sedimentos. O material é fino, o rio Itajaí-Açu é um rio lamoso, portanto o material precisa de alta energia para ser transportado por mais tempo. Desta maneira, a resposta deste tipo de material à modelagem é complexa, principalmente quando estamos falando de uma região com características homogêneas e influenciada pela ação antrópica.

A fim de se entender o papel da influência do espaçamento nas análises, os casos de tendência de transporte foram modelados considerando diferentes espaçamentos amostrais, como pode ser visto no Anexo 3 A, 3B e 3C. Os casos de tendência da malha a montante foram processados com valores de espaçamento de 112 m, que foi o espaçamento da coleta, o seu dobro (224 m) e a sua metade (56 m). Em todos os espaçamentos usados, os vetores não mudaram sua robustez e nem sua direção nos três modelos de tendência de transporte de sedimentos. Desta maneira, associando os três parâmetros (espaçamento / recobrimento espacial, granulometria do material e efeito de borda), acredita-se que o fator causador da alteração nos resultados nesta malha é o caráter fino do material e o tamanho da malha, que apesar de alto recobrimento espacial dentro dela, pode ser influenciada por efeitos de borda que geram problemas de contorno, que é comum nestes casos de tendência de transporte.

Portanto, entende-se que os vetores de tendência possam estar demonstrando uma variação textural do material no canal, como pode ser visto na Figura 66. A malha a montante possui material mais grosso nas margens e uma região central com maior presença de material fino (silte e lama). Como são sedimentos finos que tendem a ficar em suspensão e sofrer floculação, o modelo apresenta dificuldades para gerar uma direção bem definida, podendo então estar expressando a variação textural do material. O material mais grosso vai se depositar nas margens onde a energia é menor e o material fino vai convergir para o centro da malha, que possui maior energia.

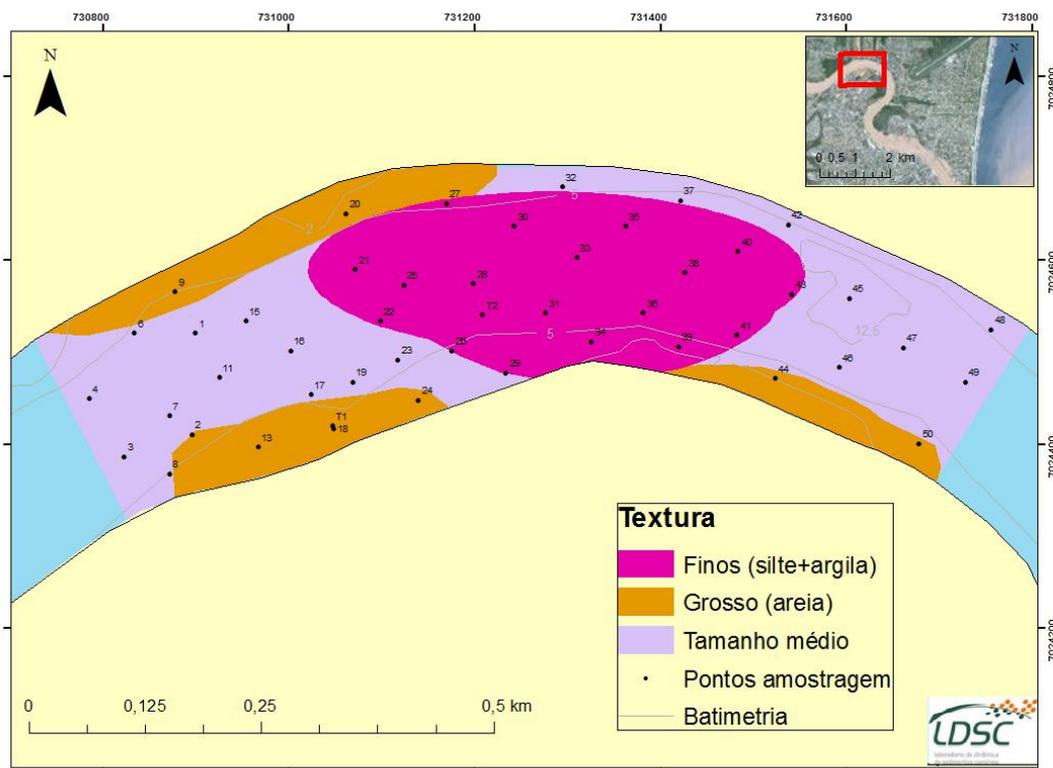


Figura 66 – Variação textural da malha a montante. Dados definidos a partir do tamanho médio do material. Maior concentração de finos (silte + argila) no centro do canal e de grossos (areia) nas margens.

Na malha a jusante, os três fatores (granulometria, espaçamento/ recobrimento espacial e efeitos de borda) que influenciam nos resultados agem da mesma forma que na malha 1.

Neste caso, a malha possui uma área maior (2km) que a malha a montante, mesmo que ainda seja pequeno comparado a outros casos de aplicação do modelo de tendência de transporte, e um maior espaçamento entre as amostras, ou seja, baixo recobrimento espacial dentro da malha, influenciando no resultado.

Os mesmos testes foram aplicados nesta malha a fim de se entender a influência do espaçamento amostral nos resultados, vide Anexo 4 A, 4B e 4C. Assim como na malha a montante, os modelos de tendência foram processados em diferentes espaçamentos (221 m, que foi o espaçamento da coleta, seu dobro – 442 m e sua metade – 110 m), nos três espaçamentos os resultados não mudaram, robustez e direção dos vetores de mantiveram a mesma, assim como na malha a montante.

Além disso, ao observar a malha, é possível notar uma região influenciada pela dragagem, principalmente na bacia de evolução e na desembocadura do canal (Figura 67), que coincidem com a maior presença de finos e, de acordo com os dados de dragagens já apresentados no trabalho (Figura 3), são as regiões mais dragadas.

De acordo com os dados apresentados nos Relatórios de Estatísticas Mensais do Porto de Itajaí, disponíveis no site do Porto e abertos ao público, no mês de junho, iniciaram-se as obras para manutenção da largura do canal, onde foram retirados e reposicionados os molhes e espigões, fato este que ocasionou o aumento na incidência de ondas no estuário e da perturbação do material contido nele, causando forte influência nos resultados.

Quando estuários sofrem ou são comandados por influência fluvial e possuem tendência ao assoreamento, como é o caso de Itajaí-Açu, a constante dragagem gera diminuição da velocidade do fluxo nas áreas em que afeta. Isso ocorre porque a vazão do rio continua a mesma, porém a área de passagem do fluxo aumenta. Com isso, o material tende a se depositar e um novo assoreamento começa a ocorrer.

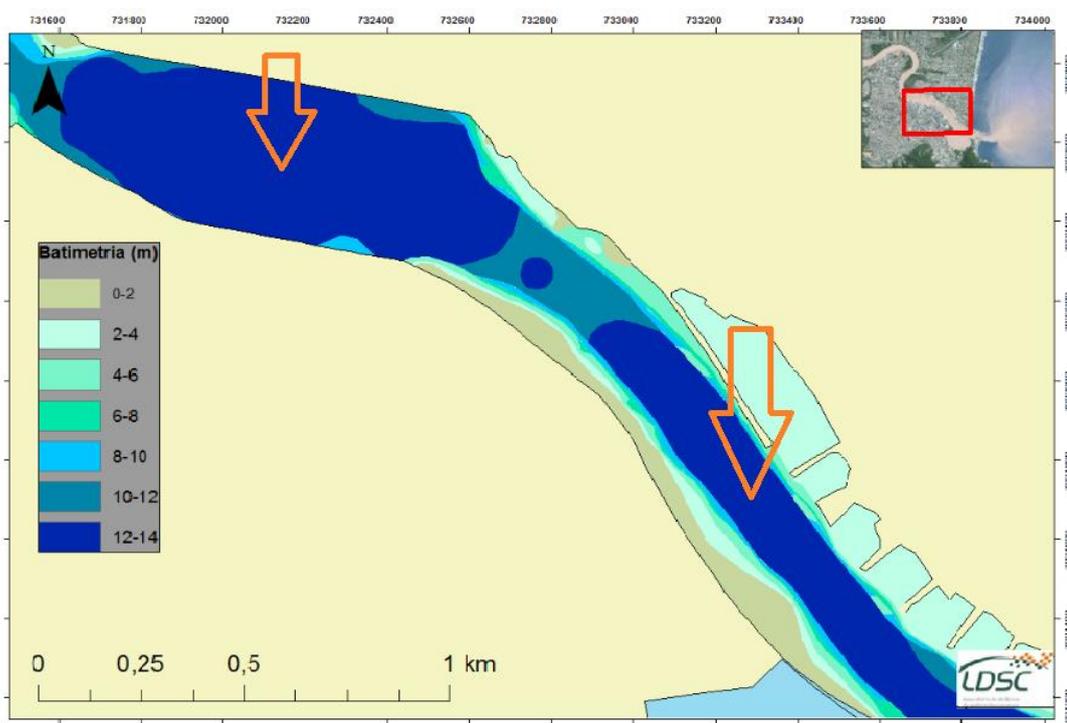


Figura 67 – Batimetria da malha a jusante. Setas indicam regiões dragadas.

Tendo em vista todas estas condições locais da malha a jusante no qual o modelo foi aplicado, é possível dizer que se trata de um ambiente de deposição, onde a tendência de transporte longitudinal é complexa. Desta forma, o modelo de tendência de transporte de sedimentos é mais difícil de aplicar no ambiente, fato este também discutido por Souza (2007), que afirma que o rio Itajaí-Açu, no seu curso inferior, próximo à foz ou desembocadura, assume as características de um rio velho ou senil, de baixa energia, em uma planície costeira de baixa altitude, cuja deposição supera o transporte e erosão fluvial.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com todos os dados apresentados no presente trabalho, conhecendo as condições ambientais da região de Itajaí, podemos concluir que a descarga do rio controla a dinâmica da região e faz com que, no geral, o fluxo de sedimentos no canal seja de vazante e o material mais grosso vem a se depositar primeiro, fato mostrado pelo maior teor de areia na malha a montante, e o material mais fino é depositado depois. Porém apresenta vetores marginais de enchente o que, associado à estratificação, pode favorecer a formação de lama fluida na região portuária.

A camada de lama fluida no estuário pode ultrapassar 2,5 m e as dragagens na região são constantemente feitas por métodos de injeção de água, que influenciam na constante suspensão do material. Este fato nos mostra que, apesar da descarga fluvial ser dominante e fazer com que todo este material seja carregado em direção ao oceano, esta energia não é suficiente para causar a remoção total de todas estas partículas finas, concentrando assim a camada de lama fluida no canal. Além disso, de acordo com os resultados da análise granulométrica, pode-se atribuir grande caráter fino aos sedimentos do canal. Estas partículas, devido à sua granulometria, tendem a se concentrar mais tempo em suspensão, contribuindo para a formação da camada de lama fluida.

Portanto, a aplicação dos modelos de tendência de transporte de sedimentos para regiões com características semelhantes à do estuário do rio Itajaí-Açu deve passar por uma análise bastante delicada e detalhada. Além disso, também devem ser levadas em consideração todos os fatores que não contribuem para o sucesso do método, tais como coesividade do material e recobrimento espacial da malha e espaçamento amostral, e se possível todos estes fatores devem ser considerados no momento da coleta do material.

Este trabalho consiste em um primeiro enfoque sobre a dinâmica sedimentar no estuário de Itajaí-Açu, tendo um caráter investigativo. Futuramente, outros estudos podem ser unidos aos dados aqui expostos, visando realizar uma melhor avaliação e expandindo o tema aqui debatido, como o estudo do comportamento de lama fluida e a medição das correntes.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, M. M. *Aplicação de modelos de tendência direcional de transporte de sedimentos na plataforma continental Sul do estado do Rio Grande do Sul*. Monografia (Bacharelado em Oceanografia) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências. Rio de Janeiro, 2006.
- BLOTT, S. J.; PYE, K. “Gradistat: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments”. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 26, n. 11, 2001. pp. 1237-1248.
- CARNEIRO, J. C. *Compartimentação sedimentológica do Canal do Superagui, litoral do Estado do Paraná*. Pontal do Paraná, 2010. Monografia (Bacharelado em Oceanografia) – Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.
- CHANG, Y. H.; SCRIMSHAW, M. D.; LESTER J. N.; “A revised Grain-Size Trend Analysis program to define net sediment transport pathways”. *Computers & Geosciences* 27, 2001. pp.109-114.
- DIAS, C. B. *Dinâmica do sistema estuarino Timonha / Ubatuba (Ceará – Brasil): Considerações ambientais*. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2005. 146 p. Disponível em <http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/11671/1/2005_dis_cbdias.pdf>.
- DIAS, J. M. A. *A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos: uma introdução à Oceanografia Geológica*. Universidade do Algarve. Faro, Portugal, 2004. 90 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Joao_Dias3/publication/236551412_A_ANALISE_SEDIMENTAR_E_O_CONHECIMENTOS_DOS_SISTEMAS_MARINHOS_Uma_Introducao_a_Oceanografia_Geologica/links/0deec517ffe9e2f67400000/A-ANALISE-SEDIMENTAR-E-O-CONHECIMENTOS-DOS-SISTEMAS-MARINHOS-Uma-Introducao-a-Oceanografia-Geologica.pdf>.
- DYER, K. R. *Estuaries: a physical introduction*. 2ª ed., Chichester: John Wiley and Sons, 1997. 195 p.
- DOBEREINER, C. E. (1985). Comportamento hidráulico e sedimentológico do estuário do rio Itajaí, SC. Rio de Janeiro, INPH, Relatório 700/03,34p.
- DOBEREINER, C. E. (1986). Sedimentação no estuário do rio Itajaí-açu. In: Congresso Latino Americano de Hidráulica, 12, São Paulo, Anais, p.1-10.
- FACHI, J. *Análise da influência de aprofundamento na calha do estuário do Rio Itajaí-Açu sobre as variações dos níveis de água e sua relevância na redução de enchentes*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, agosto de 2016.

- FOLK, R.L.; WARD, W.C. "Brazos River Bay: Study of the significance of grain size parameters". *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 27, 1957, pp. 3-27.
- FRENA, M.; *Avaliação da qualidade dos sedimentos por meio de biomarcadores geoquímicos e elementos traço em amostras do estuário do rio Itajaí-Açu e determinação de contaminantes em matrizes de resíduos sólidos*. Tese (Doutorado em Química Analítica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós-Graduação em Química. Florianópolis, 2014. 222 p. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/132421>>.
- GAO, S. "A Fortran program for grain-size trend analysis to define net sediment transport pathways". *Computers & Geosciences*, v. 22, n. 4, 1996, pp. 449-452.
- _____; COLLINS, M. B. "A critique of the 'McLaren method' for defining sediment transport paths – discussion". *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 61, n. 1, 1991, pp. 143-146.
- _____. "Analysis of grain size trends, for defining sediment transport, pathways in marine environments" *Journal of Coastal Research*, v. 10, n. 1, 1994, pp. 70-78.
- _____. "Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of 'transport vectors'". *Sedimentary Geology*, v. 80, 1992.
- _____; LANCKNEUS, J.; DE MOOR, G.; VAN LANCKER, V. "Grain size trends associated with net sediment transport patterns: an example from the Belgian continental shelf." *Marine Geology*, v. 121, 1994, pp. 171-185.
- GIANNINI, P. C. F.; RICCOMINI, C. "Sedimento e processos sedimentares". In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. pp.168-190.
- ITAJÁI. *Monitoramento ambiental do estuário do rio Itajaí-Açu na área de influência do porto de Itajaí: síntese dos subprogramas monitoramento ambiental entre 2006 e 2012*. Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí/Univali. Itajaí: dezembro de 2012. Disponível em: <<http://www.portoitajai.com.br/novo/download.php?id=922>>.
- KRUMBEIN, W.C. "Size frequency distributions of sediments". *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 4, n. 2, 1934, pp. 65-77.
- LABORATÓRIO DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA – LABTRANS. *Cooperação técnica para apoio à SEP/PR no planejamento do setor portuário brasileiro e na implantação dos projetos de inteligência logística portuária*. Porto de Itajaí: Florianópolis, setembro de 2013. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/images/planos-mestres-sumarios-executivos/se24.pdf>>.

- LE ROUX, J. P.; O'BRIEN, R. D.; RIOS, F.; CISTERNAS, M. "Analysis of sediment transport paths using grain-size parameters". *Computers & Geosciences*, v. 28, 2002. pp. 717–721.
- _____ ; ROJAS, E. M. "Sediment transport patterns determined from grain size parameters: overview and state of the art". *Sedimentary Geology*, v. 202, 2007. pp. 473-488.
- LESSA, G.; DIAS, K. "Distribuição espacial das litofácies de fundo da Baía de Todos os Santos". *Quaternary and Environmental Geosciences*, v. 1, n. 2, 2010.
- MALVERN INSTRUMENTS WORLDWIDE. *A basic guide to particle characterization*, 2012.
- McLAREN, P. "An interpretation of trends in grain size measures". *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 51, n. 2, 1981. pp. 611-624.
- _____ ; BOWLES, D. The effects of sediment transport on grain-size distributions. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 55, n. 4, 1985. pp. 457-470.
- MEDEIROS, A. D. *A influência da maré e da batimetria sobre a intrusão salina no estuário do rio Itajaí-Açu*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica), COPPE / UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, maio de 2003. 76 p. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/216/1/diss_adriana_medeiros.pdf>
- MENDONÇA, P. R; ROBEIRO, V. A. F. *Análise da Dinâmica Sedimentar no Entorno da Ilha do Fundão, Rio de Janeiro – RJ*. Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Escola Politécnica – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, agosto de 2014. 127 p. Disponível em <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10011197.pdf>>.
- MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. *Princípios de oceanografia física de estuários*. São Paulo: EDUSP, 2002.
- PICKARD, G. L. & EMERY, W. J. *Descriptive physical oceanography: an introduction*. 5. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1990. 320 p.
- PION, L. M. *Lama fluida e fundo náutico: conceito e aplicação no complexo portuário de Itajaí*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. São Paulo, 2017.
- POIZOT E.; MÉAR, Y. "Using a GIS to enhance grain size trend analysis". *Environmental Modelling & Software*, v. 25, n. 4, 2010. pp. 513–525.
- _____ ; _____ ; BISCARA, L. "Sediment Trend Analysis through the variation of granulometric parameters: A review of theories and applications". *Earth-Science Reviews*, v. 86, 2008. pp. 15-41.

- _____; _____; THOMAS, M.; GARNAUD, S. “The application of geostatistics in defining the characteristic distance for grain-size trend analysis.” *Computers & Geosciences*, v. 32, 2006. pp. 360-370.
- RÍOS, F.; CISTERNAS, M.; LE ROUX, J.; CORRÊA, I. “Seasonal sediment transport pathways in Lirquen Harbor, Chile, as inferred from grain-size trends”. *Revista Investigaciones Marinas*, v. 30, n. 1, 2002. pp. 3-23.
- SÁNCHEZ, A.; LEGORRETA, T.A.; MORALES, R.S.; HERNÁNDEZ, M.C.O.; ORTIZ, B.E.L.; AGUÍÑIGA, S. “Distribución de parám texturales de los sedimentos superficiales en la Bahía de Chetumal: implicaciones en la inferencia de transporte”. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 25, n. 3, 2008. pp. 523-532.
- SCHETTINI, C. A. F.; “Caracterização Física do Estuário do Rio Itajaí-Açu”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 7, n. 1, 2002. pp 123-142.
- SOUZA, D. R.; *Distribuição de minerais pesados ao longo do curso inferior do rio Itajaí-Açu/ SC e sua correlação sedimentar com a planície costeira, praia e plataforma continental interna adjacente*. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Florianópolis, 2007. 200 p. Disponível em: < <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/89877>>.
- UHLEIN *et al.* Apostila de Sedimentologia e Petrologia Sedimentar, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, [2011 ?]. 108 p.
- VEIGA, F. A.; ANGULO, R. J.; MARONE, E.; BRANDINI, F. P.; SOARES, C. R. “Padrões de transporte de sedimentos baseado em três programas geradores de vetores de tendências de transporte a partir de parâmetros granulométricos na porção Sul do delta de desembocadura do complexo estuarino de Paranaguá – Sul do Brasil”. *Boletim Paranaense de Geociências*, Editora UFPR, n. 57, 2005. pp. 75-87.
- WENTWORTH, C. K. “A scale of grade and class terms for clastic sediments”. *Journal of Geology*, Chicago, n. 30, 1922. pp. 377-392.

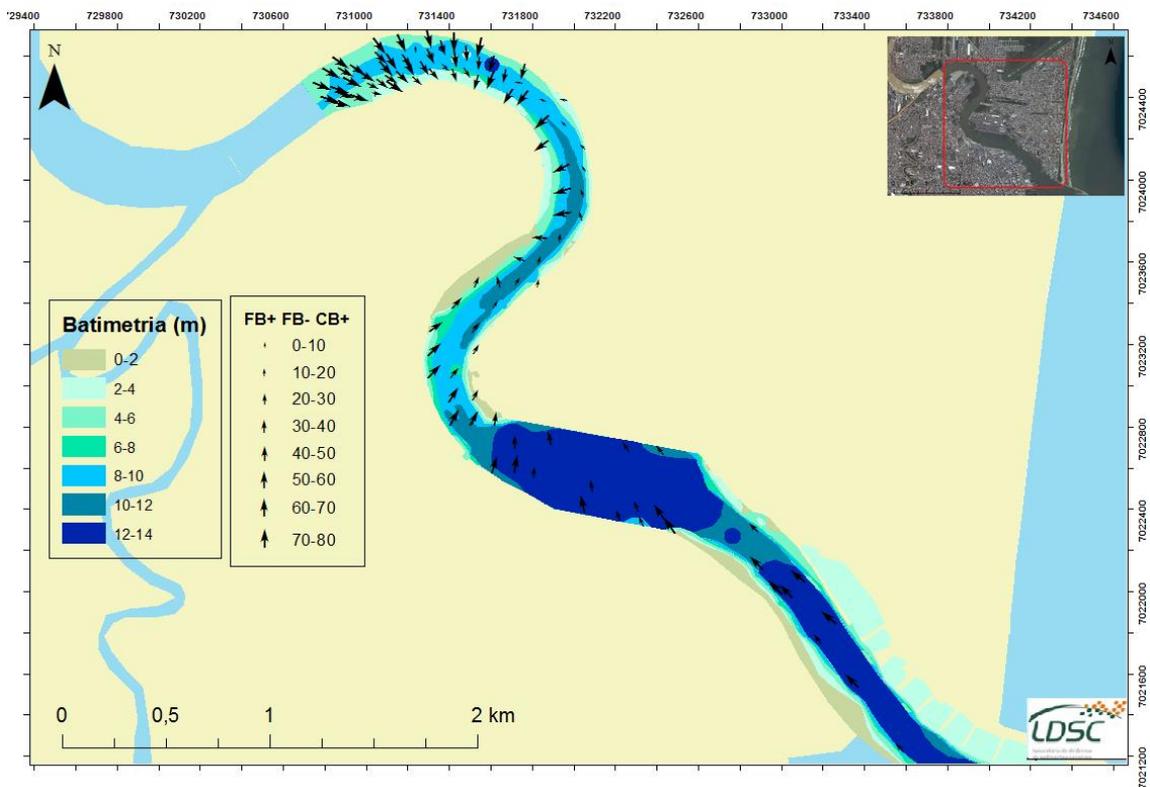
Anexo 1 A – Distribuição Granulométrica

Malha 1 (%)												
Pontos	Agrossa	A.m	A.f	A.mf	Smg	Silte grosso	silte médio	Silte fino	silte muito fino	argila	Total Areia	Total Finos
4	0,3%	0,7%	2,5%	7,6%	13,0%	18,4%	21,0%	18,1%	10,7%	7,8%	11,1%	88,9%
6	0,0%	0,7%	2,6%	6,1%	10,8%	17,0%	20,9%	19,5%	12,7%	9,7%	5,4%	20,6%
8	0,6%	1,1%	2,4%	6,6%	11,1%	16,3%	20,2%	19,4%	12,5%	9,7%	10,9%	89,1%
9	0,4%	2,5%	6,8%	14,2%	17,4%	18,5%	17,2%	12,4%	6,3%	4,2%	24,0%	76,0%
11	0,6%	1,0%	2,9%	8,7%	14,2%	18,0%	19,3%	16,8%	10,5%	7,9%	13,2%	86,8%
13	0,0%	0,7%	3,8%	10,7%	16,1%	19,5%	19,2%	15,2%	8,6%	5,9%	15,2%	84,8%
15	0,1%	0,6%	1,8%	5,6%	10,2%	17,2%	22,4%	20,5%	12,4%	9,1%	8,0%	92,0%
16	0,0%	1,6%	3,9%	10,4%	16,2%	20,0%	19,8%	14,8%	7,8%	5,3%	15,9%	84,1%
17	0,2%	0,5%	1,3%	3,6%	8,8%	16,7%	23,3%	21,9%	13,2%	10,3%	5,7%	94,3%
18	0,00%	0,00%	0,00%	3,20%	11,30%	18,80%	23,80%	21,40%	12,90%	8,60%	3,2%	96,8%
19	0,0%	0,3%	1,5%	5,1%	9,1%	16,5%	22,6%	21,4%	13,5%	10,1%	6,8%	93,2%
20	0,0%	1,0%	3,8%	10,2%	15,0%	17,8%	19,0%	16,6%	10,0%	6,6%	14,9%	85,1%
21	0,0%	0,5%	2,0%	5,4%	10,4%	18,0%	23,5%	20,8%	11,6%	7,8%	7,9%	92,1%
22	0,6%	0,9%	2,7%	7,3%	11,0%	15,1%	18,7%	19,0%	13,5%	11,1%	11,5%	88,5%
23	0,0%	0,0%	0,5%	4,6%	10,0%	15,9%	20,8%	21,5%	14,8%	12,0%	5,1%	94,9%
24	2,1%	3,5%	5,7%	11,0%	15,5%	18,1%	17,9%	13,5%	7,0%	4,6%	23,3%	76,6%
25	0,0%	0,6%	2,3%	6,4%	11,0%	16,4%	20,5%	19,8%	12,9%	9,9%	9,4%	90,6%
26	0,1%	0,7%	2,1%	5,4%	10,3%	17,1%	22,0%	20,2%	12,5%	9,5%	8,3%	91,7%
27	0,5%	1,3%	8,0%	15,8%	15,2%	16,8%	17,7%	13,2%	6,7%	4,8%	25,6%	74,3%
28	0,0%	0,5%	1,9%	5,0%	10,1%	16,6%	21,6%	20,7%	13,4%	10,2%	7,5%	92,5%
29	0,04%	0,43%	1,49%	4,47%	9,25%	17,36%	23,66%	21,42%	12,50%	9,39%	6,4%	93,6%
30	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	4,40%	15,80%	26,30%	27,00%	16,10%	10,40%	0,0%	100,0%
31	0,7%	0,8%	1,4%	4,5%	8,4%	16,2%	23,0%	21,6%	13,3%	9,9%	7,5%	92,5%
32	0,6%	0,8%	2,1%	5,8%	9,9%	15,1%	20,7%	21,3%	13,6%	10,0%	9,3%	90,7%
33	0,1%	0,3%	1,2%	4,2%	8,0%	14,6%	21,6%	22,7%	15,3%	11,8%	5,9%	94,1%
34	0,00%	0,00%	0,10%	8,60%	12,70%	18,60%	23,40%	19,20%	10,50%	6,70%	8,7%	91,1%
35	0,3%	0,4%	1,2%	4,1%	8,3%	15,1%	21,9%	22,4%	14,8%	11,6%	5,9%	94,1%
36	0,0%	0,0%	0,6%	4,7%	10,7%	17,1%	21,0%	20,6%	14,0%	11,2%	5,4%	94,6%
37	0,0%	1,3%	4,7%	8,9%	11,9%	17,4%	21,8%	18,3%	9,5%	6,3%	14,9%	85,1%
38	0,0%	0,8%	2,8%	6,2%	10,6%	16,8%	22,1%	20,4%	12,1%	8,3%	9,8%	90,2%
39	0,0%	0,7%	3,0%	7,3%	10,7%	16,3%	22,0%	20,4%	11,6%	8,0%	11,0%	89,0%
40	0,00%	0,00%	9,50%	1,60%	10,50%	22,5	21,30%	16,20%	16,70%	23,50%	11,1%	88,2%
41	0,3%	0,4%	1,0%	3,6%	8,9%	16,5%	22,8%	22,3%	13,9%	10,2%	5,2%	94,7%
42	0,7%	0,6%	2,1%	6,5%	9,9%	15,0%	20,4%	20,5%	13,5%	10,6%	9,9%	90,0%
43	0,2%	0,7%	1,7%	5,7%	10,8%	17,7%	22,3%	20,0%	12,1%	8,9%	8,3%	91,7%
44	0,0%	1,2%	3,7%	8,1%	12,5%	16,7%	19,7%	18,7%	11,8%	7,7%	13,0%	87,0%
45	0,1%	1,5%	2,9%	6,0%	10,3%	16,5%	21,8%	20,3%	12,2%	8,5%	10,4%	89,6%
46	1,2%	1,9%	4,3%	9,0%	12,9%	17,1%	18,9%	16,5%	10,1%	7,9%	16,4%	83,5%
47	0,3%	0,6%	1,7%	4,4%	8,7%	16,2%	22,4%	21,3%	13,7%	10,7%	7,0%	93,0%
48	0,0%	1,1%	2,7%	6,1%	11,2%	18,8%	23,3%	19,5%	10,5%	6,9%	9,9%	90,1%
49	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	7,0%	17,3%	28,0%	25,1%	13,4%	8,8%	0,5%	99,5%
50	1,2%	2,0%	5,1%	12,1%	15,0%	15,6%	16,9%	15,3%	9,6%	7,0%	20,4%	79,5%
1	0,0%	0,6%	2,4%	6,0%	11,2%	19,1%	23,6%	19,3%	10,4%	7,3%	9,1%	90,9%
2	0,0%	1,7%	6,4%	14,0%	17,9%	19,4%	17,9%	12,7%	6,2%	3,8%	22,2%	77,8%
3	0,0%	0,9%	3,9%	9,5%	14,9%	19,8%	20,8%	16,1%	8,6%	5,6%	14,2%	85,8%
7	0,0%	0,6%	2,9%	9,0%	15,4%	20,0%	20,5%	16,4%	9,2%	6,1%	12,5%	87,5%
T1	0,0%	1,0%	3,7%	9,1%	14,4%	19,3%	20,7%	16,6%	9,1%	6,1%	13,8%	86,2%
T2	0,0%	1,0%	3,3%	7,7%	12,8%	18,8%	21,5%	17,5%	9,8%	7,5%	12,0%	88,0%

Anexo 1B – Distribuição Granulométrica

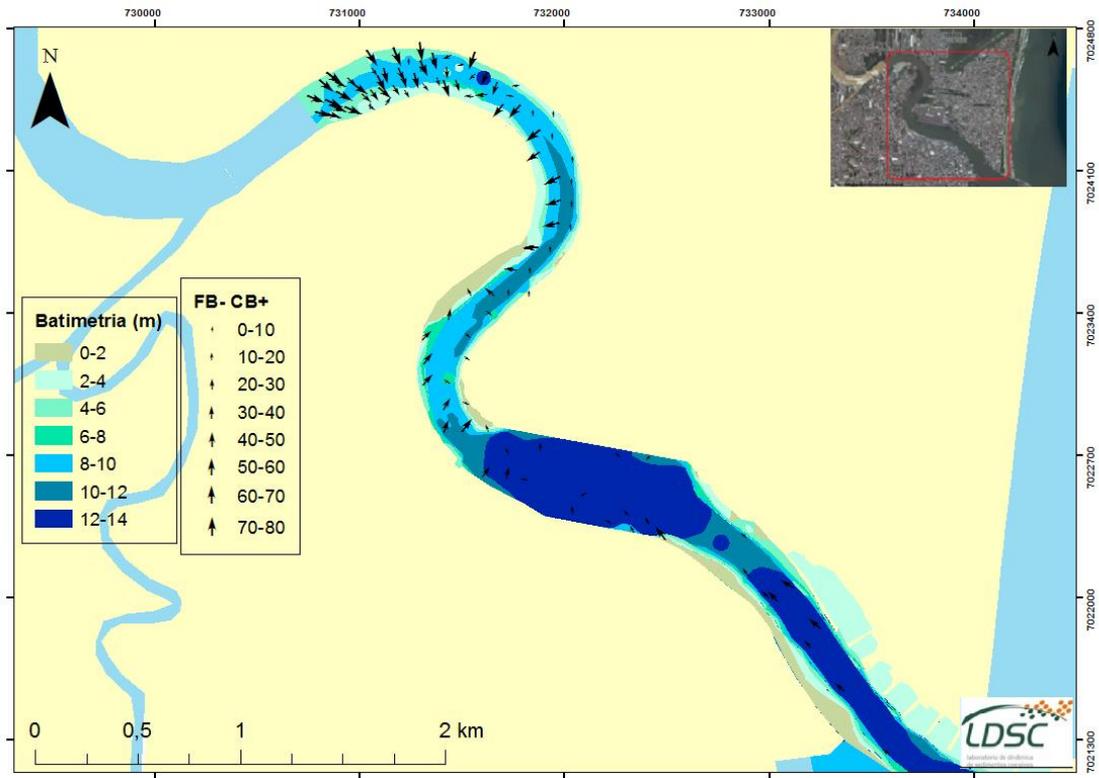
Malha 2 (%)												
Pontos	Amg	Ag	Am	Af	Amf	silte muito grosso	silte grosso	silte médio	silte fino	silte muito fino	Total Areia	Total Finos
1	0	0	0	0,3	4,5	10,1	16,6	22,5	21,8	14,5	4,80	90,3
2	0	0	0	0,4	5,9	11,4	17,5	23,3	21,5	12,1	6,30	92,1
3	0	0	0,6	1,7	6,8	11,7	17,2	21,4	19,8	11,9	9,10	91,1
4	0	0	0,3	1,3	7,4	12,4	17,8	22,2	19,7	11,1	9,00	92,2
5	0	0	0	0,4	5,9	11,9	18,6	23,9	20,8	11,2	6,30	92,7
6	0	0,1	0,1	0,5	6,6	12	17,5	23,3	21,1	11,3	7,30	92,5
7	0	0,1	0,3	0,9	6,4	12	17,8	23,6	20,8	10,9	7,70	92,8
8	0	0,1	0,2	0,7	6,3	12	18,3	23,8	20,7	10,8	7,30	92,9
9	0	0	0	0,2	4,9	10,3	16,9	23,8	22,3	12,8	5,10	91,2
10	0	0,1	0,5	1,7	8	12,8	17,3	21,5	19,1	10,9	10,30	91,9
11	0	0	0,2	1,6	8,8	13,8	17,6	20,8	18,4	10,8	10,60	92
12	0	0	0	1,1	7,5	13	18,1	22,3	19,7	10,8	8,60	92,5
13	0	0	0	0,8	6,3	11,5	18,3	24,2	21	10,8	7,10	92,9
14	0	0	0	1,8	8,2	12,9	17,9	21,9	19,1	10,5	10,00	92,3
15	0	0	0	2,6	9,6	13,4	16,8	20,7	18,6	10,6	12,20	92,3
16	0	0	0	0,8	6,8	12,6	16,5	20,5	20,5	13,1	7,60	90,8
17	0	0	0	0,8	6,3	11,6	15,8	21,3	21,6	12,9	7,10	90,3
18	0	0	0	0,8	7,2	12,4	16,4	21,2	20,8	12,2	8,00	91
19	0	0	0	0,1	3,7	9,5	17,3	24	22,9	13,1	3,80	90,6
20	0	0	0	0,7	6,8	12	16,5	21,3	21,1	12,5	7,50	90,9
21	0	0	0	0,3	4,9	10,5	16,8	22,7	22,3	13	5,20	90,5

Anexo 2A – Modelos de Tendência de transporte de Sedimentos



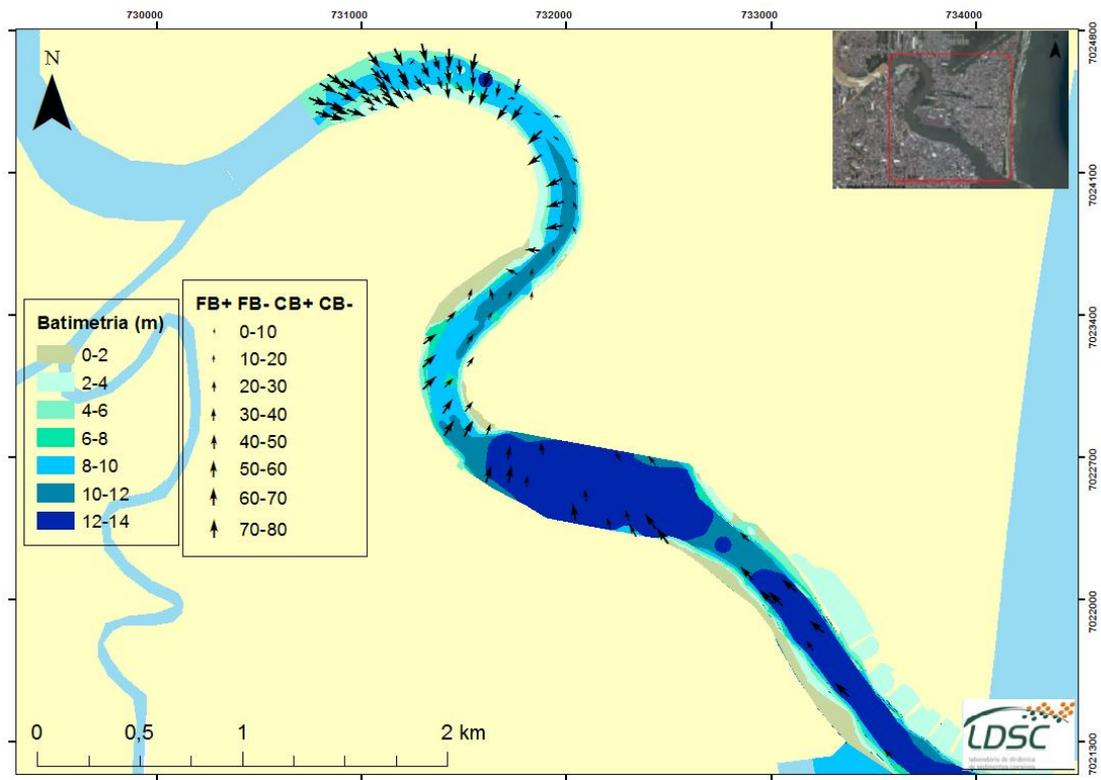
Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açú, considerando a combinação dos casos FB+, FB- e CB+, em uma grade regular, com espaçamento de 112 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado.

Anexo 2B – Modelos de Tendência de transporte de Sedimentos



Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açú, considerando a combinação dos casos FB- e CB+, em uma grade regular, com espaçamento de 112 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado.

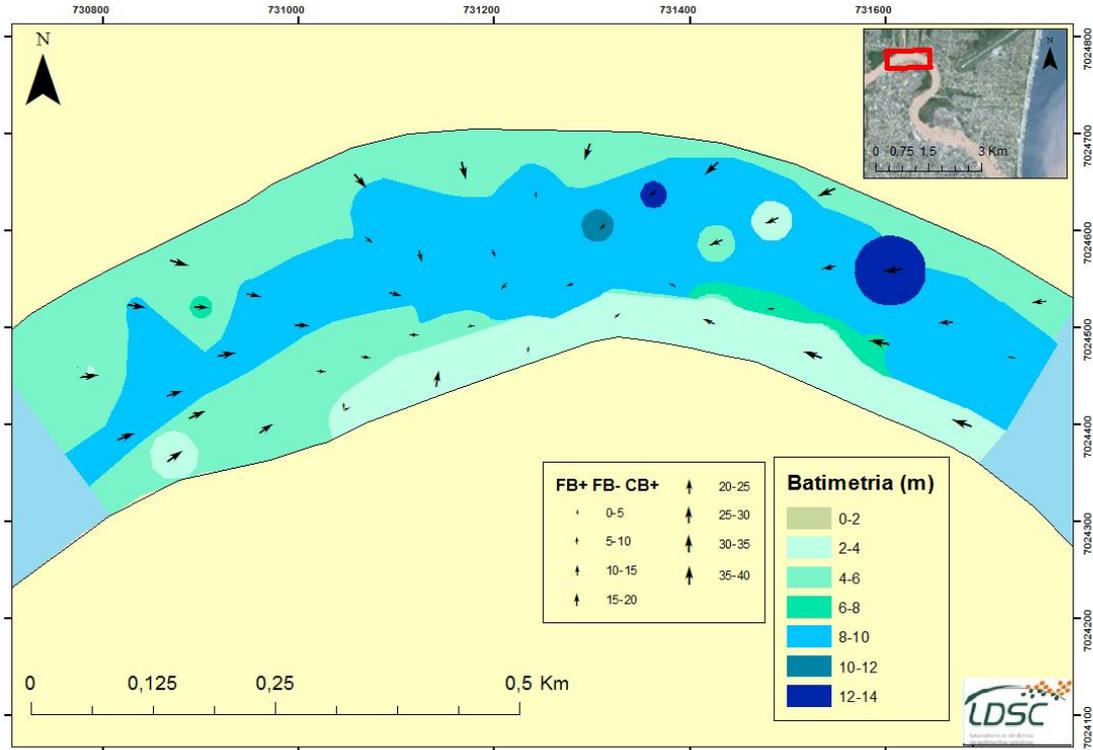
Anexo 2C – Modelos de Tendência de transporte de Sedimentos



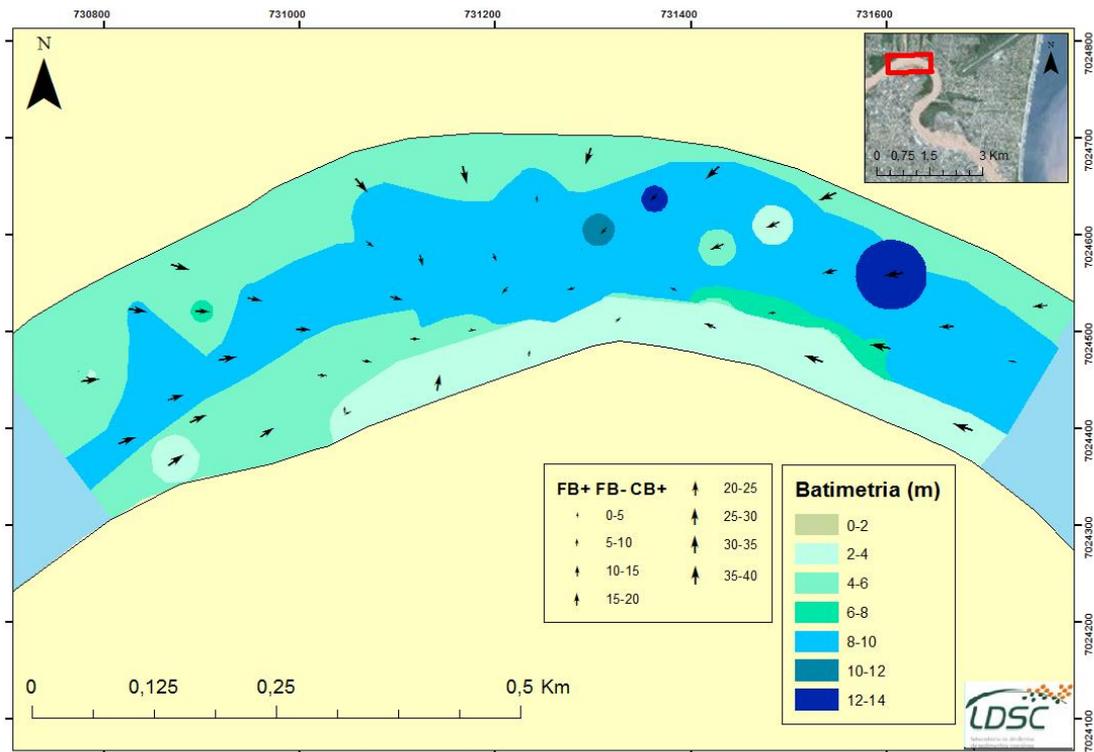
Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açú, considerando a combinação dos casos FB+, FB-, CB+ e CB-, em uma grade regular, com espaçamento de 112 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado.

Anexo 3A – Modelos de Tendência de Transporte com diferentes espaçamentos – malha a montante

- Mc Laren, 1981



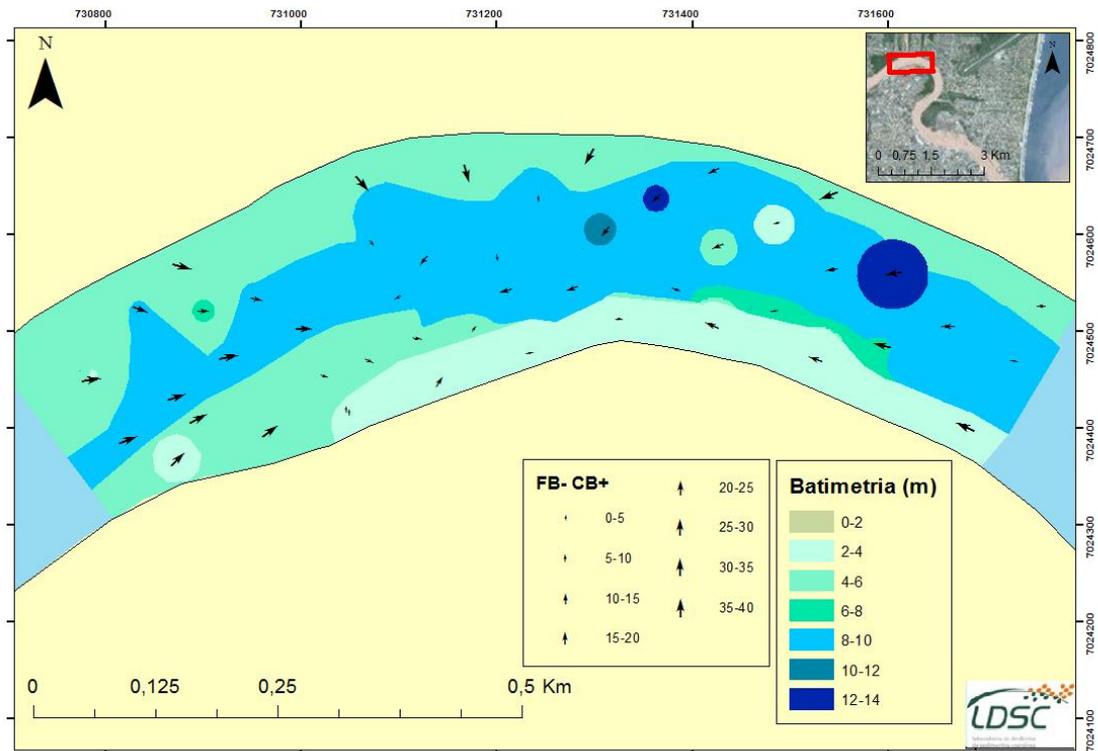
Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açú, considerando a combinação dos casos FB+, FB- e CB+, em uma grade regular, com espaçamento de 56 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado.



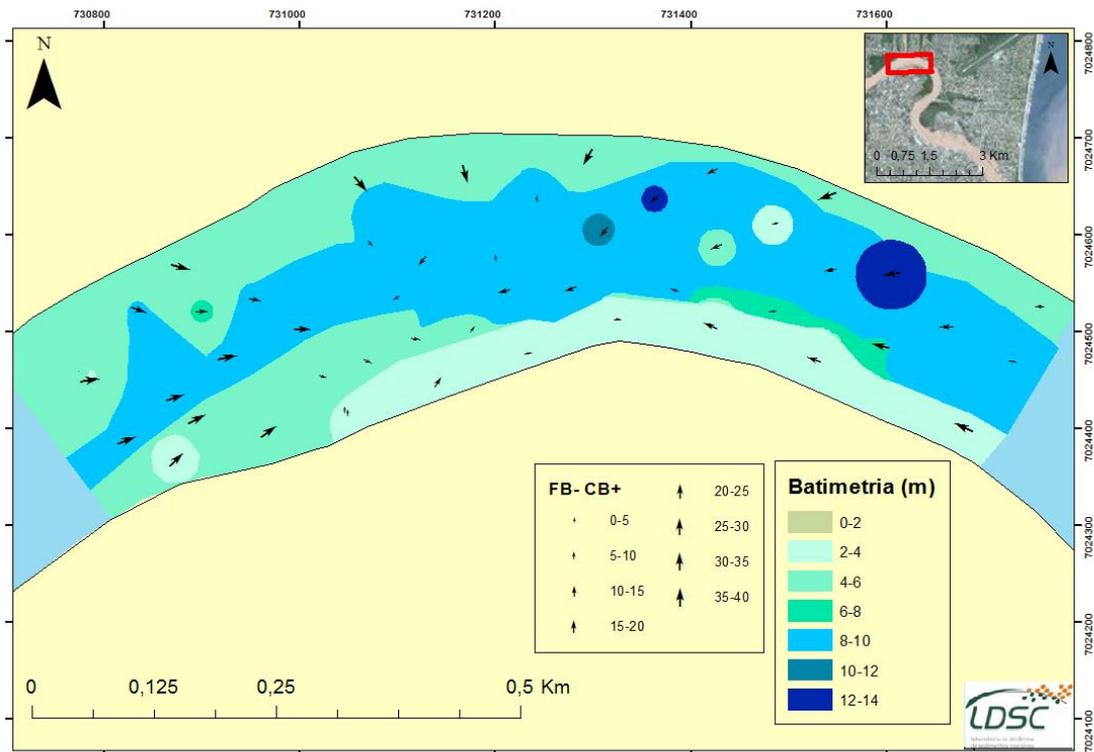
Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açú, considerando a combinação dos casos FB+, FB- e CB+, em uma grade regular, com espaçamento de 224 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado.

Anexo 3B -- Modelos de Tendência de Transporte com diferentes espaçamentos -- malha a montante

- Gao & Collins, 1991



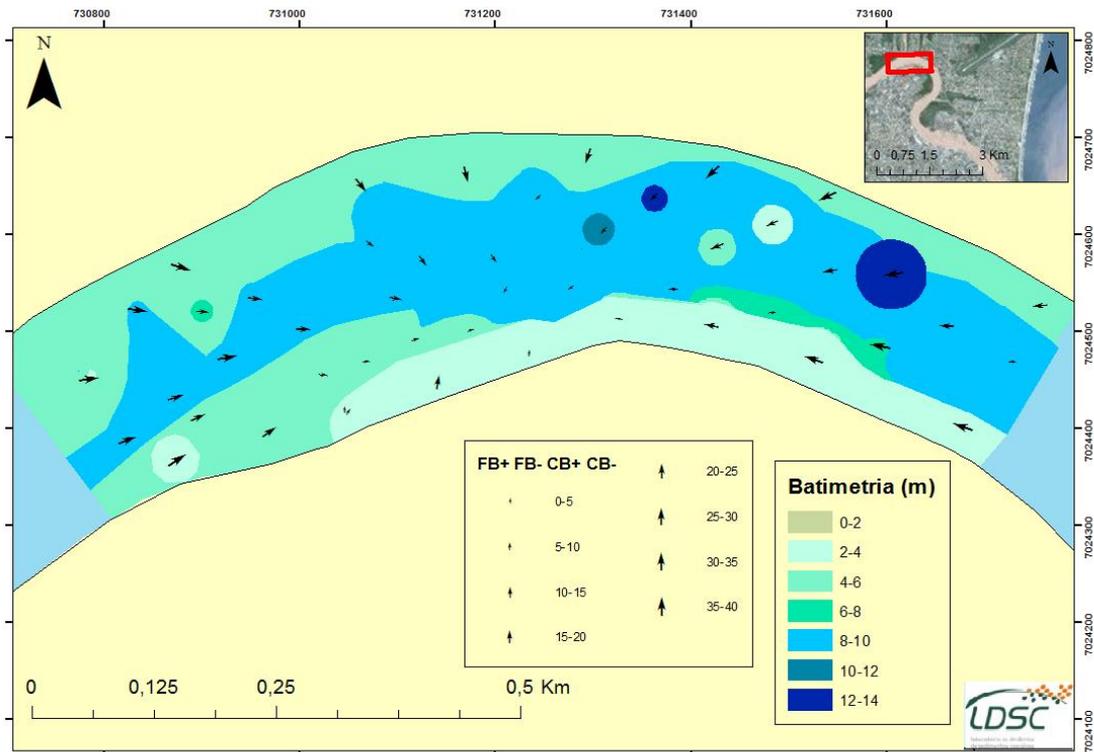
Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açú, considerando a combinação dos casos FB- e CB+, em uma grade regular, com espaçamento de 56 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado.



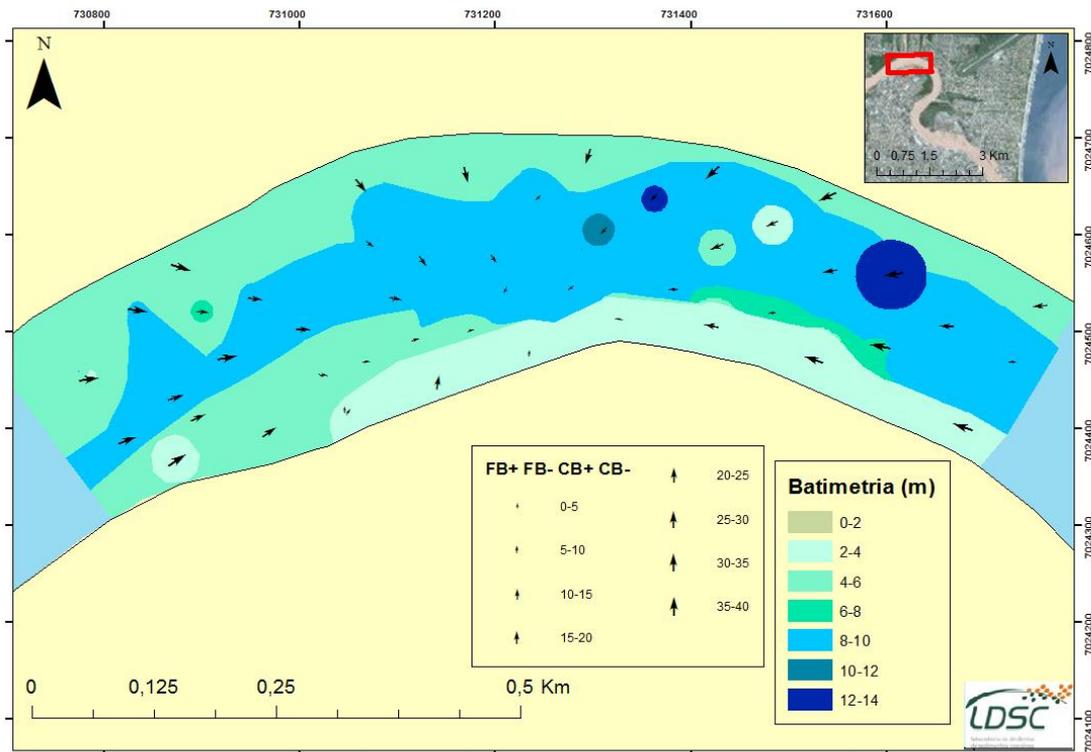
Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açú, considerando a combinação dos casos FB- e CB+, em uma grade regular, com espaçamento de 224 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado.

Anexo 3C -- Modelos de Tendência de Transporte com diferentes espaçamentos -- malha a montante

- Le Roux, 1994



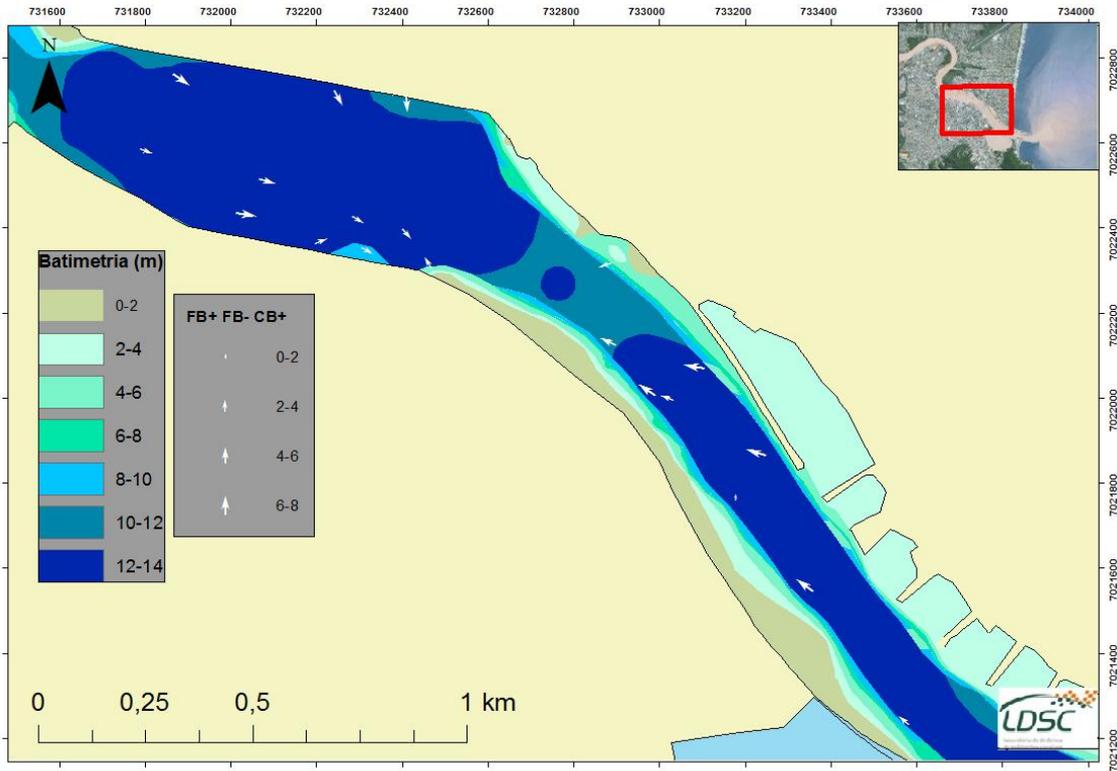
Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açú, considerando a combinação dos casos FB-, FB+, CB- e CB+, em uma grade regular, com espaçamento de 56 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado.



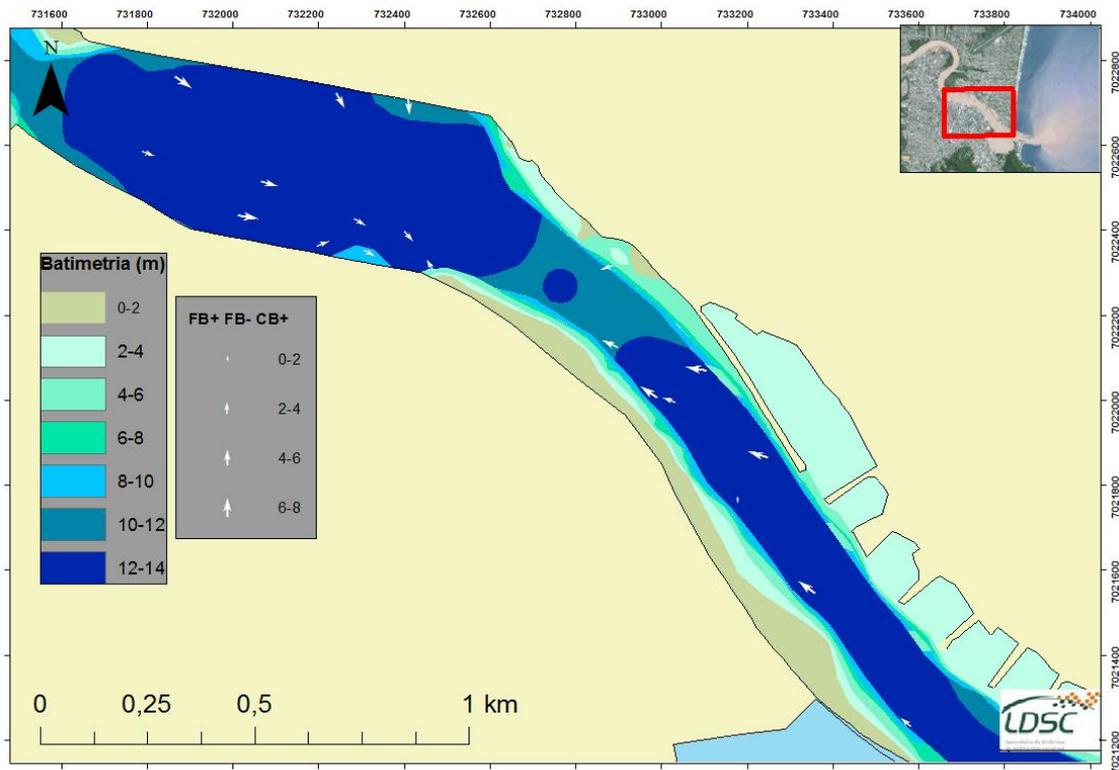
Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açú, considerando a combinação dos casos FB-, FB+, CB- e CB+, em uma grade regular, com espaçamento de 224 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado.

Anexo 4A – Tendência de Transporte de Sedimentos com diferentes espaçamentos – Malha a Jusante

- Mc Laren, 1981



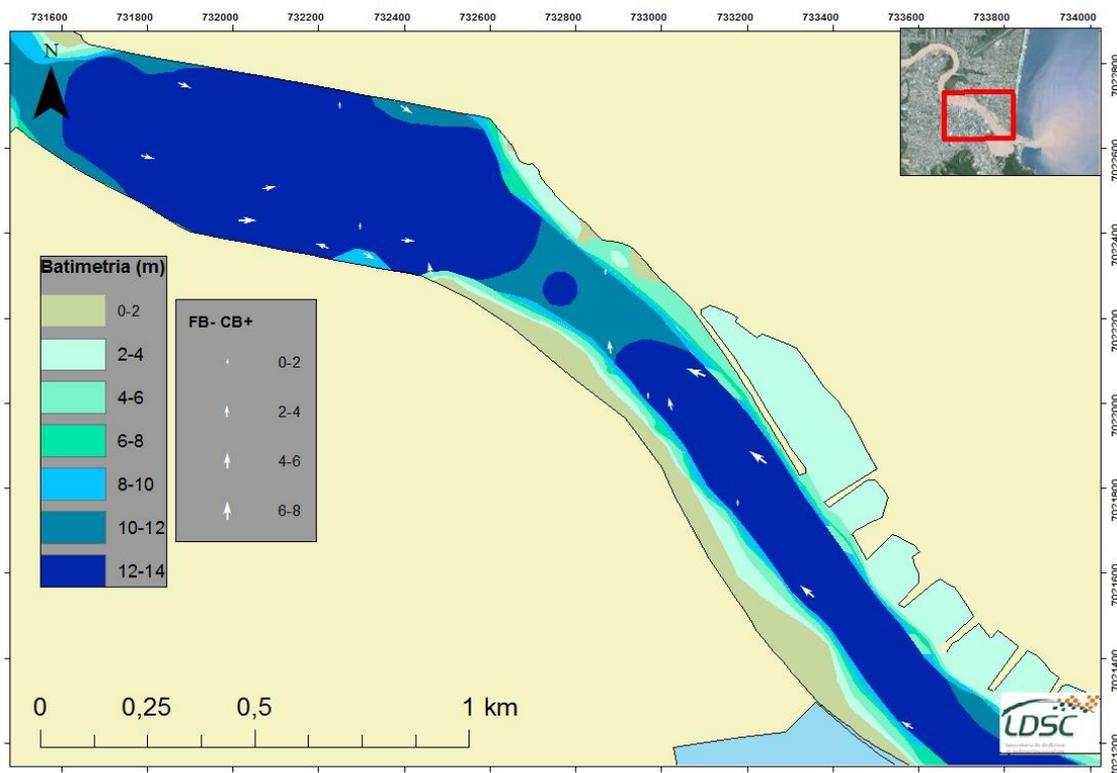
Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açu, considerando a combinação dos casos FB+, FB- e CB+, em uma grade regular, com espaçamento de 110 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado.



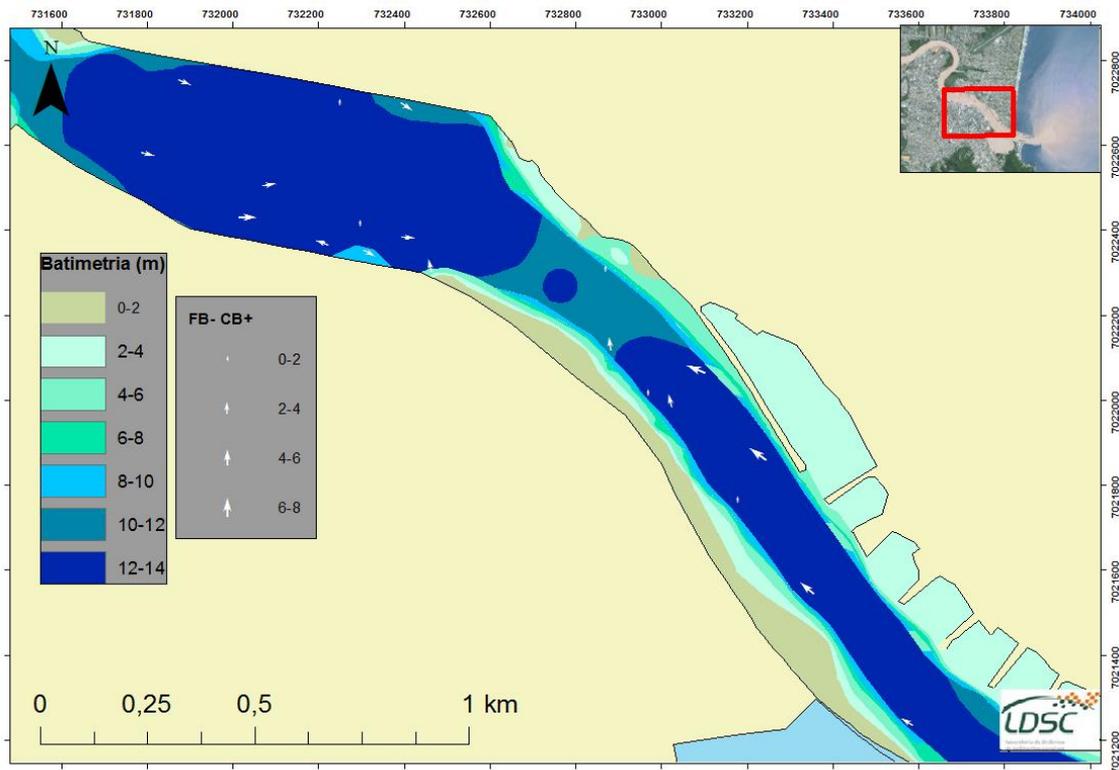
Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açú, considerando a combinação dos casos FB+, FB- e CB+, em uma grade regular, com espaçamento de 442 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado.

Anexo 4B – Tendência de Transporte de Sedimentos com diferentes espaçamentos – Malha a Jusante

- Gao & Collins, 1991



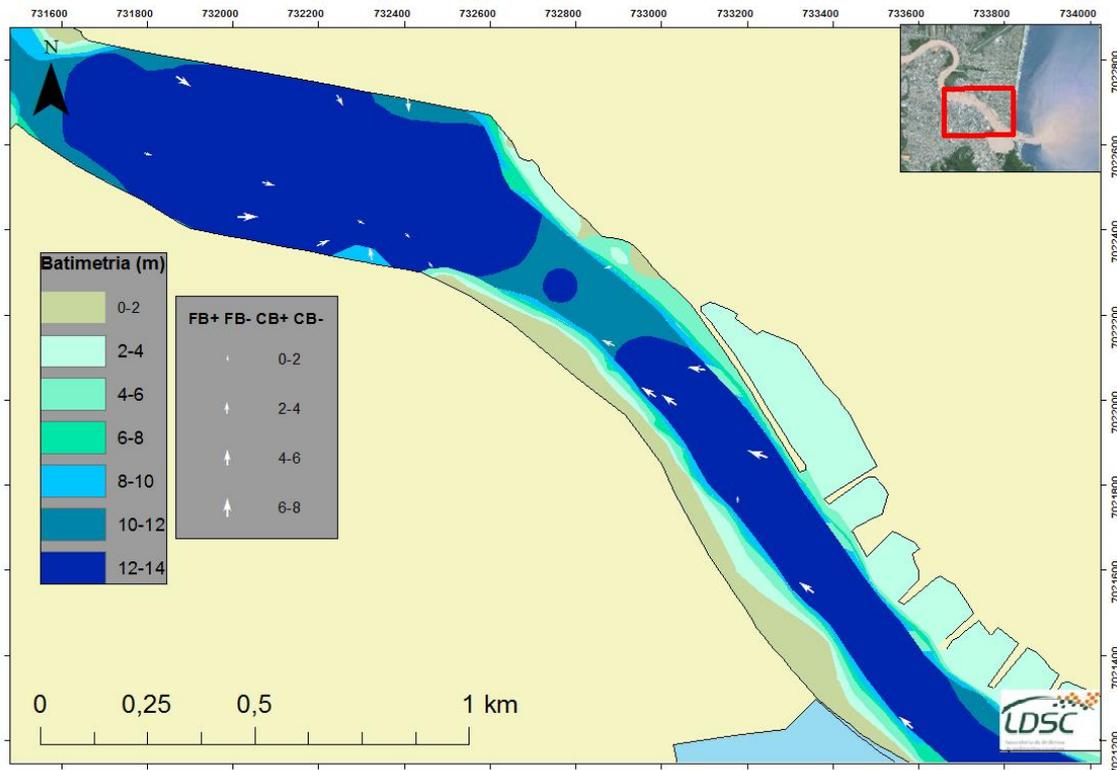
Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açu, considerando a combinação dos casos FB- e CB+, em uma grade regular, com espaçamento de 110 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado.



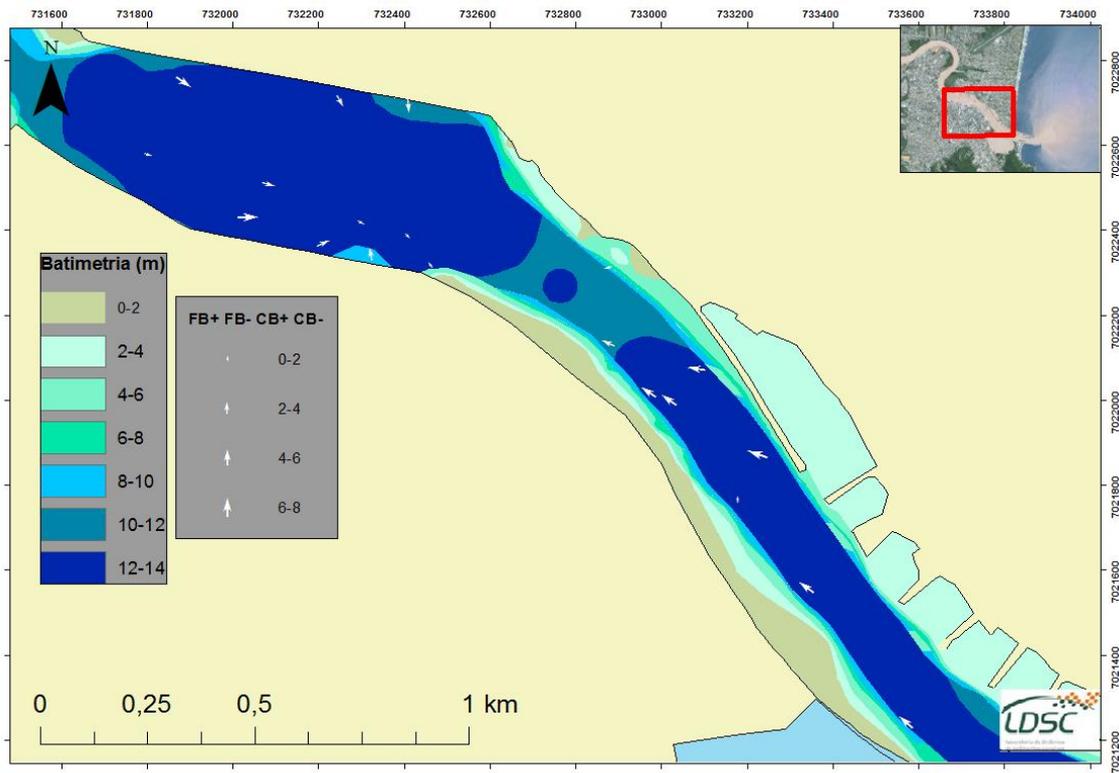
Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açú, considerando a combinação dos casos FB- e CB+, em uma grade regular, com espaçamento de 442 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado.

Anexo 4C – Tendência de Transporte de Sedimentos com diferentes espaçamentos – Malha a Jusante

- Le Roux, 1991



Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açu, considerando a combinação dos casos FB+, FB-, CB+ e CB-, em uma grade regular, com espaçamento de 110 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado.



Transporte líquido de sedimentos no rio Itajaí-Açú, considerando a combinação dos casos FB+, FB-, CB+ e CB-, em uma grade regular, com espaçamento de 442 metros entre as estações, obtido através do programa GiSedTrend. As setas representam os vetores de transporte para o caso analisado.

