PREFEITURA MUNICIPAL DA ESTÂNCIA BALNEÁRIA DE CARAGUATATUBA

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE,
AGRICULTURA E PESCA

PROJETO DE ENRONCAMENTO DA FOZ DO RIO JUQUERIQUERE ESTUDO AMBIENTAL SIMPLIFICADO (EAS)

Responsáveis Técnicos

Ronaldo Cheberle – Oceanógrafo
Diretor Municipal de Meio Ambiente

Marcel Luiz Giorgeti Santos – Engenheiro Ambiental
Secretario Municipal de Meio Ambiente, Agricultura e Pesca

Caraguatatuba, julho de 2020

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO 1
1.1. Enchentes e Alagamentos 1
1.2. Tendência de Agravamento nos Índices de Ocorrência de Enchentes e Alagamentos 8
1.3. Histórico de Solicitações e Intervenções 10
1.4. Projeto de Revitalização 12
2. PARECER E MANIFESTAÇÃO CETESB 12
3. DESCRIÇÃO DO PROJETO 16
3.1. Desassoreamento e Dragagem 17
3.1.1. Características Físico-Químicas do Material Dragado 18
3.1.2. Granulometria do Material Dragado 19
3.2. Molhes 20
3.3. Monitoramento 23
4. CONCLUSÃO E PEDIDOS 23

1. INTRODUÇÃO

O Município de Caraguatatuba vem assumindo papel de grande relevância no Litoral Norte de SP em função, principalmente, da implantação de grandes empreendimentos na região como um todo e no próprio município.

Empreendimentos como a Unidade de Tratamento de Gás de Caraguatatuba (UTGCA, a Ampliação do Porto de São Sebastião e a Duplicação da Rodovia dos Tamoios e Implantação dos Anéis de Contorno de Caraguatatuba (sul e norte, de iniciativa dos governos estadual e federal, acarretaram um significativo aumento do índice de atratividade do município resultando em taxas elevadas de crescimento populacional.

Segundo informações da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados de SP (SEADE[1] o Município de Caraguatatuba apresentou, em 2018, Taxa Geométrica de Crescimento Anual da População de 1,48%, aproximadamente 55% superior à taxa estadual.

A região sul do município, que compreende os bairros Morro do Algodão, Perequê, Porto Novo, entre outros, devido à suas características morfológicas e locacionais, é a que apresenta maior taxa de crescimento urbano composto, predominantemente, por população de baixa renda – nesta região localiza-se o Rio Juqueriquere, reconhecido como o maior rio do litoral norte de SP, que nasce na Serra do Mar e desemboca na Praia do Porto.

Com extensão aproximada de 13 km, o Rio Juqueriquere é o maior rio navegável do litoral norte de São Paulo, sua bacia é a única pertencente à 7ª ordem de Strahler, ou seja, recebe tributários que possuem a confluência de até sete canais, da nascente até a foz, sendo os principais rios contribuintes os rios Camburu, Pau D'Alho, Pirassununga, Rio Claro e Perequê, os quais são responsáveis pela drenagem das águas pluviais das regiões com maiores índices de ocupação urbana no município.

Além da sua grande importância como principal sistema hídrico de escoamento das águas pluviais da área com elevado índice de ocupação urbana, o Rio Juqueriquerê, especialmente no seu trecho compreendido entre a Rodovia Dr. Manoel Hipólito do Rego e a foz, tem grande importância para as atividades pesqueira e náutica tanto de lazer como profissional, importância esta decorrente do fato de tratar-se do único rio navegável de todo o litoral norte.

O intenso processo de assoreamento que vem ocorrendo no rio nos últimos anos, além de comprometer a capacidade de escoamento das águas, agravando ainda mais a susceptibilidade para ocorrências de eventos de enchentes e alagamentos, também compromete de maneira significativa o desenvolvimento do potencial econômico do Rio Juqueriquere.

1.1. Enchentes e Alagamentos

Conforme SOUZA (2005) a bacio do Rio Juqueriquere possui índice elevado de susceptibilidade morfométrica para ocorrência de alagamentos e inundações – a figura 1, a seguir, indica os diferentes índices de susceptibilidade morfométrica para ocorrência de eventos de enchentes

[1] Disponível em http://www.perfil.seade.gov.br/

das bacias hidrográficas existentes no litoral norte, indicando a alta susceptibilidade do Rio Juqueriquere.

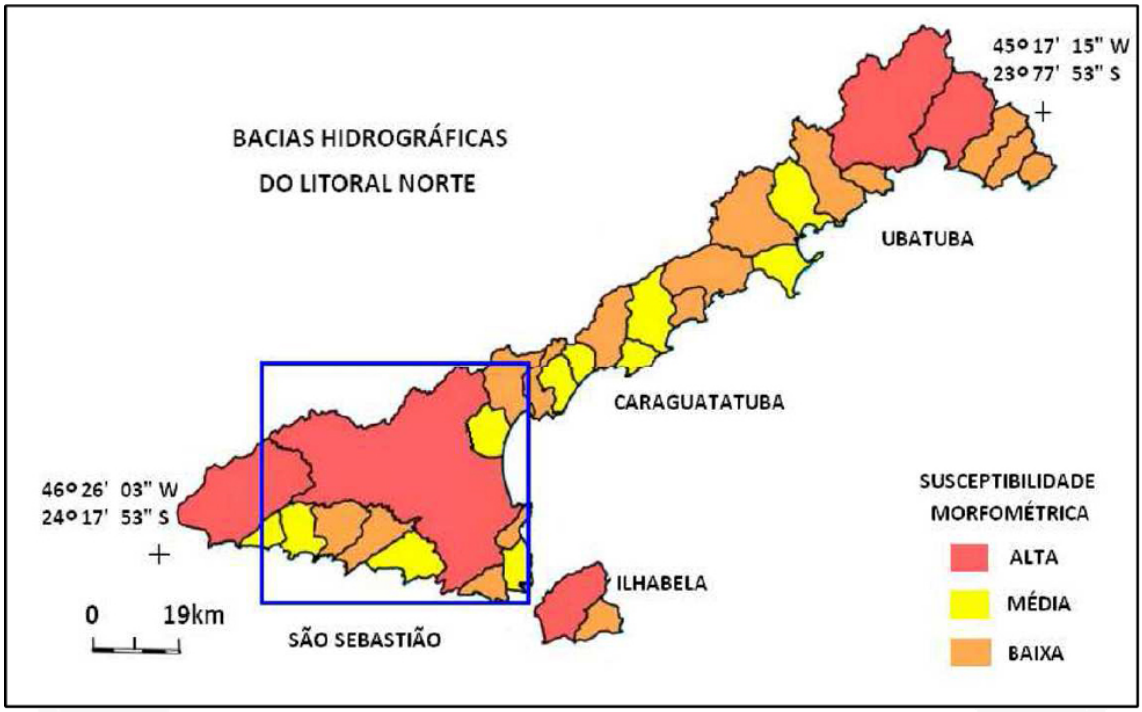


Figura 1: Localização geográfica da área de estudo: Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquere, Caraguatatuba, Litoral Norte de São Paulo. Fonte: Adaptada de Souza (2005).

Segundo ARASAKI *et al.* (2011) as inundações e alagamentos na bacia do Rio Juqueriquere são frequentes e ocorrem em função da intensa dinâmica fluvial e da combinação entre alta capacidade de transporte de sedimentos e da transição fluvial e costeira.

A tendência natural de ocorrência de inundações e alagamentos vem sofrendo significativo agravamento em função do intenso processo de assoreamento sofrido pelo Rio Juqueriquere, especialmente no seu trecho de foz, compreendido entre Rodovia Dr. Manoel Hipólito do Rego e a foz do rio propriamente dita.

O dinamismo e o grau de assoreamento da foz do Rio Juqueriquere são claramente evidenciados pela sequência de figuras de sensoriamento remoto 2 a 9 a seguir, obtidas no programa Google Earth, abrangendo o período compreendido entre NOV/2014 e SET/2018 (coordenadas: 23°42'29.74"S 45°25'38.32"O, *Datum* WGS84).

Figura 2: Foz Juqueriquere, NOV/2014

Figura 3: Foz Juqueriquere, MAI/2016

Figura 4: Foz Juqueriquere, JUL/2016

Figura 5: Foz Juqueriquere, AGO/2016

Figura 6: Foz Juqueriquere, FEV/2017

Figura 7: Foz Juqueriquere, SET/2017

Figura 8: Foz Juqueriquere, AGO/2018

Figura 9: Foz Juqueriquere, SET/2018

As fotos 01 a 06, a seguir, demonstram a situação de assoreamento do trecho jusante do Rio Juqueriquerê.

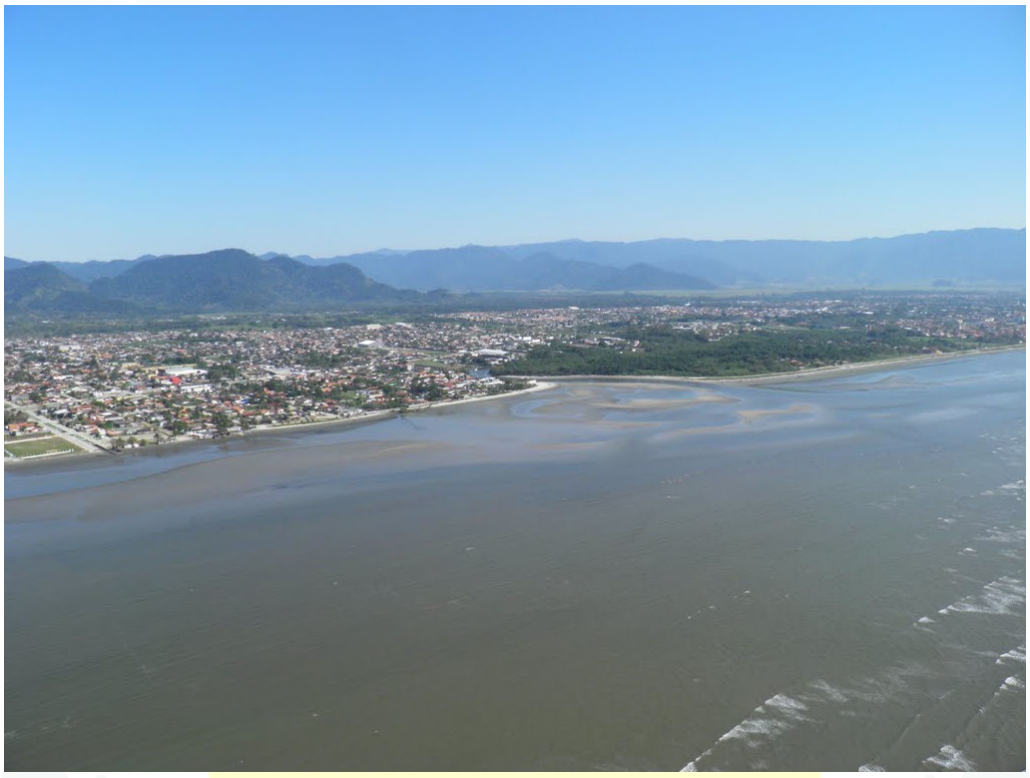


Foto 1: vista aérea da foz do Rio Juqueriquerê em 2012 – notar clara indicação de ocorrência de bancos de areia – fonte: Acervo Pessoal, R.Cheberle.

Foto 2: vista aérea da foz do Rio Juqueriquerê em 2012 – notar estrangulamento do canal principal e evidências de formação de planície de maré possivelmente composta por material de granulometria fina (silte) – fonte: Acervo Pessoal, R.Cheberle.

Foto 3: vista aérea da foz do Rio Juqueriquerê em 2012 – detalhe de bancos de areia e estrangulamento do canal principal – fonte: Acervo Pessoal, R.Cheberle.

Foto 4: vista aérea da foz do Rio Juqueriquerê em 2012 – detalhe de bancos de areia e estrangulamento do canal principal e também na área de antepraia – fonte: Acervo Pessoal, R.Cheberle.

Foto 5: vista aérea da foz do Rio Juqueriquerê em 2012 – notar progressivo estreitamento da calha principal do rio no sentido montante-jusante – fonte: Acervo Pessoal, R.Cheberle.

Foto 6: vista aérea da foz do Rio Juqueriquerê em 2012 – notar progressivo estreitamento da calha principal do rio no sentido montante-jusante – fonte: Acervo Pessoal, R.Cheberle.

Como claramente evidenciado na sequência de imagens de sensoriamento remoto obtidas no programa Google Earth (figuras 2 a 9) a foz o Rio Juqueriquere propriamente dita, assim entendido o ponto em que as águas do rio encontram as águas costeiras, apresenta canal de conexão claramente assoreado, não apenas no aspecto de estreitamento como também no aspecto relacionado à diminuição das profundidades do canal – em conjunto, a redução de estreitamento e de profundidade, resultam em significativa redução das seções transversais e, como consequência direta, redução significativa da capacidade de escoamento, condição que, ao menos potencialmente, é um agravante para a susceptibilidade à ocorrência de eventos de enchentes.

As fotos 1 a 10, a seguir, exibem eventos de enchentes e alagamentos ocorridos em bairros localizados na bacia hidrográfica do Rio Juqueriquere:

Foto 1

Foto 3

Foto 4

Foto 2

Foto 5

Foto 6

Foto 7

Foto 8

Foto 9

Foto 10

1.2. Tendência de Agravamento nos Índices de Ocorrência de Enchentes e Alagamentos

Conforme SOUZA (2005) a bacia hidrográfica do Rio Juqueriquere, devido a suas características naturais, apresenta alta susceptibilidade para ocorrência de enchentes e alagamentos, esta característica merece especial atenção em função do intenso processo de ocupação urbana ocorrida ao longo de praticamente toda a bacia hidrográfica.

Ocorre que a tendência de ocupação humana nessa área foi intensificada com a publicação do novo Zoneamento Ecológico Econômico do Litoral Norte de SP (ZEELN), através do Decreto Estadual 62.913 de 8 de novembro de 2017.

No Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) de 2004, estabelecido pelo Decreto Estadual 49.215, a bacia hidrográfica do Rio Juqueriquere possuía sua maior porção classificada como

Zona 4 Terrestre (Z4T) a qual permitia ocupação máxima de 60% da área total dos imóveis e utilização predominante para fins habitacionais (art.21), adicionalmente um trecho classificado em Zona 3 Terrestre (Z3T) o qual permitia ocupação máxima de 30% da área total dos imóveis com utilização voltada predominantemente a atividade agropecuária (art.17), além destas zonas ocorriam trechos menores classificados como Zona 5 Terrestre (Z5T), que permitia 100% de ocupação com utilização atividades com maior impacto ambiental (art.30) e, por fim, um pequeno trecho classificado como Zona 2 Terrestre (Z2T), associado ao maciço de vegetação existente ao longo do Rio da Paca – este trecho permitia ocupação máxima de 20% e destinava-se principalmente ao desenvolvimento de atividades de baixo efeito impactante (art.13) – a figura 10, a seguir, exibe as zonas que ocorriam trecho urbano da Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquere conforme ZEE de 2004.

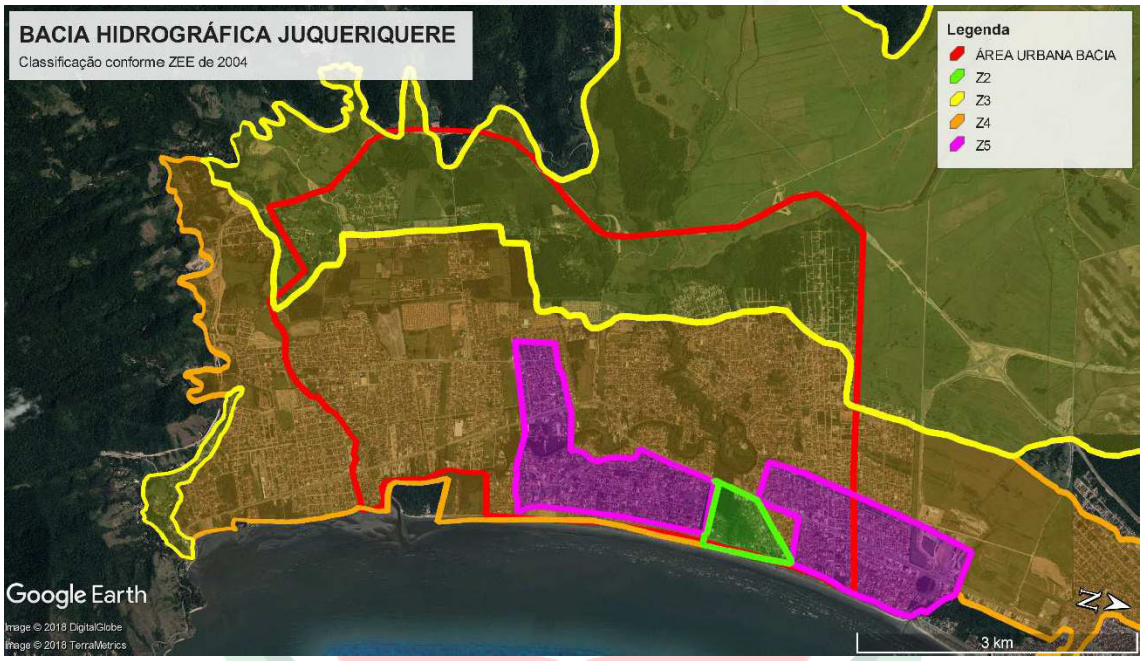


Figura 2: classificação da área urbana inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquere conforme Zoneamento Ecológico Econômico de 2004 (Decreto Estadual 49.215/2004).

O novo Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE), estabelecido pelo Decreto Estadual 62.913/2017, a porção da área urbana do município inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquere sofreu significativa alteração passando a ser classificada predominantemente como Zona 5 Terrestre Ocupação Dirigida (Z5OD) a qual, conforme disposições do artigo 35 do diploma legal, permite ocupação de até 80% das áreas dos imóveis e o desenvolvimento de atividades industriais de baixo impacto, terminais rodoviários, logística, armazenamento, embalagem, transporte e distribuição de produtos e mercadorias – a alteração promovida pelo novo ZEE é compatível com as alterações decorrentes da instalação de grandes empreendimentos (Unidade de Tratamento de Gás de Caraguatatuba, Ampliação do Porto de São Sebastião, Duplicação da Rodovia dos Tamoios, Implantação dos Anéis de Contorno de Caraguatatuba, Hospital Regional), no entanto implica em significativo aumento dos volumes de drenagem urbana, cenário que eleva a tendência de agravamento nos índices de ocorrência de enchentes e alagamentos. A figura 11, a seguir, exibe as zonas que ocorriam trecho urbano da Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquere conforme ZEE de 2017.

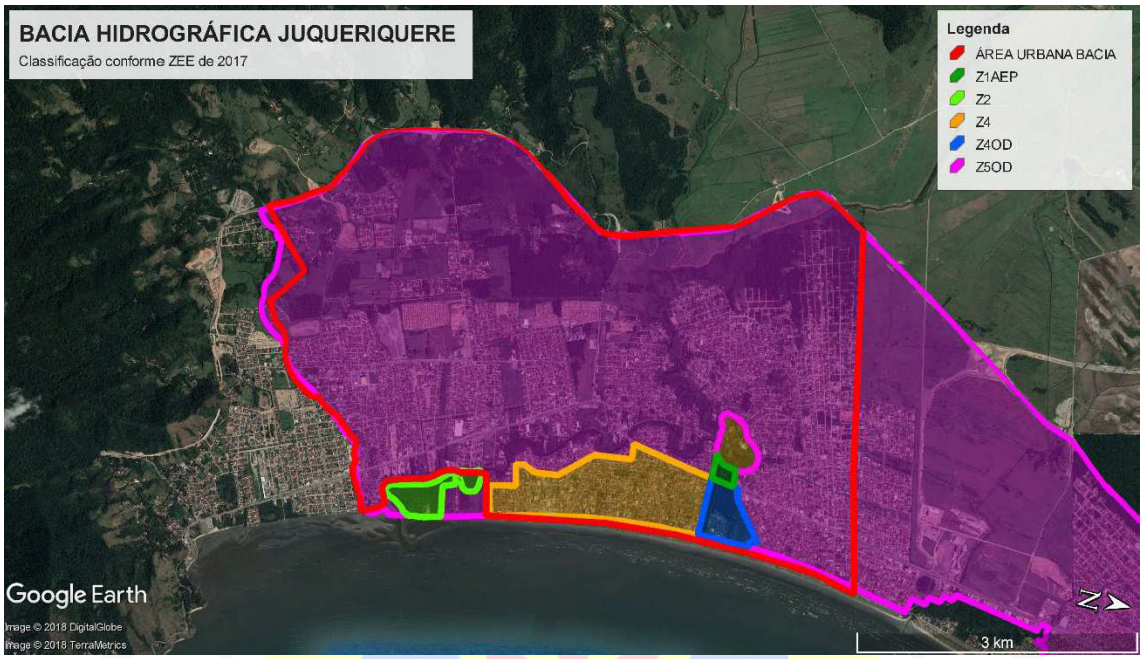


Figura 11: classificação da área urbana inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquere conforme Zoneamento Ecológico Econômico de 2017 (Decreto Estadual 62.913/2017).

As alterações nas políticas de uso e ocupação do território promovidas pelo novo Zoneamento Ecológico Econômico de 2017 implicam em uma clara mudança nos padrões econômicos da porção sul do Município de Caraguatatuba, que embora seja adequada ao desenvolvimento decorrente da instalação de grandes empreendimentos estaduais e federais, eleva de maneira significativa a importância do Rio Juqueriquere como principal elemento componente da macrodrenagem desse trecho do território, desta forma, indispensável a criação de condições para que os problemas de enchentes e alagamentos na região não se tornem um empecilho ao desenvolvimento sustentável e socialmente justo.

1.3. Histórico de Solicitações e Intervenções

Em função dos problemas recorrentes de enchentes e alagamentos que ocorrem nos bairros existentes ao longo do Rio Juqueriquere e também em função do crescente prejuízo tanto a atividade pesqueira como náutica em função do intenso processo de assoreamento observado no Rio Juqueriquere nos últimos anos, a realização de trabalhos de desassoreamento no rio e a solução definitiva dos problemas tem sido uma demanda constante de vários segmentos da comunidade local – a tabela 1, a seguir, relaciona algumas das solicitações ocorridas ao longo do tempo e, adicionalmente, documentos e informações relacionadas as intervenções já ocorridas.

Nº	Data	Documento
1	JUN-1998	Requerimento de Outorga ao DAEE para Desassoreamento/Limpeza de margens do Rio Juqueriquere
2	JUL-1998	Autorização fornecida pela Marinha
3	JUL-1998	Ofício ao DEPRN solicitando autorização para Desassoreamento do Rio Juqueriquere

4	SET-1998	Relatório de Vistoria 591/98 ETU – Desassoreamento do Rio Juqueriquere
5	OUT-1998	Parecer Técnico de Outorga Rio Juqueriquere (Ilha Morena) 2 Trechos
6	OUT-1998	Parecer Técnico de Outorga - Desassoreamento dos Rios Juqueriquere e Santo Antônio
7	MAI-2000	Autorização para Depósito Temporário de Areia em APP resultante de Atividade de Desassoreamento conforme Outorga DAEE 717 de 12/12/96
8	SET-2000	Estudo Ambiental Simplificado – EAS (Obras Hidráulicas)
9	OUT-2001	Ofício “MOVIMENTO DE PRESERVAÇÃO DO RIO JUQUERIQUERE” (58 páginas de assinaturas)
10	MAI-2002	Estudo do Regime hidráulico na foz do Rio Perequê Mirim
11	SET-2003	Parecer Técnico Florestal – Foz do Rio Juqueriquere
12	OUT-2003	Ofício IPHAN permitindo a Execução de Obras de Desassoreamento do Rio Juqueriquere
13	FEV-2004	Licença Ambiental Prévia do Desassoreamento do Rio Juqueriquere
14	ABR-2004	Carta da Colônia dos Pescadores Z-8 Benjamim Constant à Prefeitura Municipal de Caraguatatuba com exigências
15	MAR-2004	Classificação e Caracterização de Resíduos e Sedimentos da Areia da Foz do Rio Juqueriquere
16	OUT-2004	Autorização da Marinha do Brasil (Capitania dos Portos de São Sebastião) para início de desassoreamento do Rio Juqueriquere
17	JAN-2006	Despacho do Superintendente do DAEE
18	AGO-2006	Manifesto de apoio da Associação de Pescadores da Praia do Camaroeiro e da Associação dos Pescadores Artesanais da Zona Sul
19	MAR-2009	Informação Técnica da CETESB sobre Renovação da Licença Ambiental Instalação
20	ABR-2010	Proposta de Molhes no Rio Juqueriquere e melhoria das áreas lindeiras aos córregos (para CETESB)
21	MAI-2010	Projeto “*Juqueriquere – rio pede socorro*” (para CETESB)
22	JUN-2011	Despacho DAEE
23	JUN-2011	Diário Oficial Poder Executivo – autorização para execução de Serviços de Desassoreamento do Rio Juqueriquere
24	JUL-2011	Documento da CETESB à Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAAP) informando que o licenciamento ambiental da atividade desassoreamento deve ser realizado pelo município
25	OUT-2013	Ofício da Colônia de pescadores com Informações sobre Embarcações que utilizam o Rio Juqueriquere
26	JUN-2015	Portaria Outorga DAEE para Desassoreamento

Tabela 1: documentos relativos às solicitações e intervenções ocorridas de 1998 a 2015 referentes ao desassoreamento do Rio Juqueriquere.

Como pode ser observado na tabela 1 as solicitações das comunidades locais para solução do problema de assoreamento e as ações da administração municipal nesse sentido datam pelo menos desde o ano de 1998, sendo que, em termos práticos, foi realizada apenas uma operação de desassoreamento em 2004.

Ocorre que tanto em função das características naturais da foz do Rio Juqueriquere e da zona costeira imediatamente adjacente como em função do significativo processo de assoreamento que vem ocorrendo, as ações objetivando a solução do problema não alcançaram os resultados desejados, tanto em relação à melhoria do escoamento das águas quanto às condições de navegação.

Considerando o irreversível processo de urbanização ocorrido na bacia do Rio Juqueriquere, que tende a se intensificar em função do novo Zoneamento Ecológico Econômico do Litoral Norte, como também o insucesso do processo de desassoreamento já executado em relação à solução efetiva das questões relativas ao escoamento das águas e às condições de navegação, a adequação física da desembocadura do rio é a única medida com efetivo potencial de solucionar de maneira consistente os problemas decorrentes do assoreamento do rio.

1.4. Projeto de Enroncamento

O Projeto de Enroncamento da Foz do Rio Juqueriquere é fundamental para implementação de soluções efetivas para os problemas acarretados pelo intenso processo de assoreamento que vem ocorrendo, especialmente no segmento de foz do rio, atendendo uma antiga demanda das comunidades que vivem no seu entorno e ao longo da bacia hidrográfica.

O projeto está associado a diversas ações relativas à recuperação de áreas ribeirinhas, objetivando redução do aporte de materiais geradores do processo de assoreamento, e preservação de áreas remanescentes representativas dos ecossistemas originalmente existentes, no entanto, seu elemento mais significativo é a implantação de enroncamento na foz do rio objetivando a adequação da desembocadura frente ao intenso processo de urbanização já ocorrido e que irá ocorrer em função da alteração do Zoneamento Ecológico Econômico do Litoral Norte. O enroncamento pretendido objetiva a estabilização do canal principal do rio beneficiando a função de escoamento das águas e melhorando as condições de navegação.

As características principais do enroncamento proposto (forma, dimensões, comprimento, orientação em relação à linha de praia) foram definidas a partir de estudos ambientais, hidrodinâmicos e oceanográficos específicos realizados pela Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE) através do Contrato N° 152/2017, estudos que constituem a base da presente solicitação de LICENÇA AMBIENTAL PRÉVIA (LP).

2. PARECER E MANIFESTAÇÃO CETESB

Após a conclusão dos "*Estudos da Hidrodinâmica e Transporte de Sedimentos na Barra do Rio Juqueriquere, com Vistas a Fornecer Parâmetros para o Projeto de Enroncamento, Estabilização de sua Foz e Subsídio ao Licenciamento Ambiental*", a Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Agricultura e Pesca em 27/11/2018 realizou Consulta Prévia junto à Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) através do Processo nº CETESB.055766/2018-80. Em resposta a solicitação a Diretoria de Avaliação de Impacto Ambiental emitiu em 07/10/2019 Parecer Técnico Nº 069/19/I (cópia em anexo) – a seguir destacam-se alguns trechos do referido parecer:

Este Parecer Técnico visa atender à solicitação da Prefeitura Municipal da Estância Balneária de Caraguatatuba para a análise e manifestação dos documentos intitulados: "Estudos da hidrodinâmica e transporte de sedimentos na barra do rio Juqueriquerê, elaborado pela Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (...)

A justificativa da referida solicitação reside no fato de haver um processo intenso de assoreamento que vem ocorrendo naquele curso d'água nos últimos anos, além de comprometer a capacidade de escoamento das águas, agravando ainda mais a susceptibilidade para ocorrências de eventos de enchentes e alagamentos, comprometendo inclusive de maneira significativa o desenvolvimento de seu potencial econômico.

Considerando o irreversível processo de urbanização ocorrido na bacia do Rio Juqueriquerê, que tende a se intensificar em função do novo Zoneamento Ecológico Econômico do Litoral Norte, aliado ao insucesso da última dragagem de desassoreamento em relação à solução efetiva das questões relativas ao escoamento das águas e as condições de navegação, o interessado reconhece que a adequação física da desembocadura do rio é a única medida com efetivo potencial de solucionar de maneira consistente os problemas decorrentes do seu assoreamento.

O relatório final (outubro de 2018, 263 p. e Anexos) aborda os aspectos de diagnóstico relacionados à caracterização da região, tais como: a enseada de Caraguatatuba, circulação atmosférica, clima, sua dinâmica sedimentar, a evolução temporal da foz do rio, os componentes biológicos da região, a qualidade da água e do sedimento, perfil praial, granulometria, análises físico-químicas, levantamentos batimétricos e dados oceanográficos.

Os resultados dos levantamentos batimétricos do rio Juqueriquerê foram apresentados em perfil (figuras 3.6 c a 3.6 h). ***Diante dos dados apresentados, pode-se constatar o nível de assoreamento significativo que se encontra esse corpo d'água****, notadamente nos trechos identificados nas figuras 5 e 6.* ***O detalhamento da foz do rio Juqueriquerê também exibe a ocorrência de assoreamento****, com registros de profundidades entre 0,5m e 1,0 m.*

Também foi emitida a Manifestação Nº 363/19/IE da Equipe Técnica do Departamento de Avaliação Ambiental de Empreendimentos, IE (cópia em anexo) – a seguir destacam-se alguns trechos da referida manifestação:

Trata-se da manifestação da equipe técnica do Departamento de Avaliação Ambiental de Empreendimentos - IE em resposta à Consulta Prévia sobre a necessidade de Licenciamento Ambiental para a implantação do Projeto de Revitalização do rio Juqueriquerê, localizado no município de Caraguatatuba.

O presente Parecer Técnico foi elaborado com base nos documentos e informações constantes no Processo IMPACTO 26/2019 (CETESB 055766/2018-80 e-ambiente), com destaque para o Parecer Técnico n° 069/19/I, de 07/10/19, relativo à análise e manifestação sobre os estudos da

hidrodinâmica, transporte de sedimentos e projeto de revitalização do rio Juqueriquerê.

De acordo com as informações apresentadas, a bacia hidrográfica do rio Juqueriquerê, apresenta alta susceptibilidade para ocorrência de enchentes e alagamentos, devido a características naturais intrínsecas à área, relacionadas à intensa dinâmica fluvial e combinação entre alta capacidade de transporte de sedimentos e da transição fluvial e costeira.

Além da tendência natural relatada, os eventos de cheia vêm sofrendo significativo agravamento em função do intenso processo de assoreamento sofrido pelo rio Juqueriquerê, especialmente no trecho compreendido entre a Rodovia Dr. Manoel Hipólito do Rego e a foz.

Tal situação traz prejuízos às atividades pesqueiras e náuticas, além de prejudicar a população residente nos bairros existentes ao longo do rio.

O projeto proposto consiste na construção de dois molhes paralelos, com extensão de aproximadamente 1.270 m e 1.430 m e 1,5 m de profundidade, projetados para garantir a estabilização da foz do rio Juqueriquerê. As estruturas serão feitas por enrocamento e serão ancorados em ambas as margens da foz fluvial.

O projeto prevê ainda dragagem periódica para manutenção de cerca de 3,38 km do canal do rio Juqueriquerê e de 1,33 km no canal interno entre os molhes.

Foram apresentados estudos da hidrodinâmica e transporte de sedimentos na barra do rio Juqueriquerê, bem como o levantamento dos critérios adotados para a definição do projeto, que considerou diferentes alternativas locacionais, comparadas entre si por meio de uma matriz multicritério que levou em conta parâmetros, como: custo, preservação da praia, navegabilidade, segurança dos banhistas às embarcações, etc.

Quanto às atividades de dragagem a serem realizadas, informou-se que o volume estimado é de 240.000 m³, sendo aproximadamente 25.000 m³ no rio Juqueriquerê e 215.000 m³ no canal externo, entre os molhes. Informou-se que deverá ser utilizada draga de sucção e recalque com tubulação de 18 polegadas na sucção e 16 polegadas no recalque operando sobre plataforma flutuante (barca), de modo a minimizar os índices de ressuspensão de sedimentos no curso d'água.

Foram realizados estudos para caracterizar os sedimentos a serem dragados, os quais evidenciaram a granulometria predominantemente arenosa, não sendo identificado nenhuma substância química poluente acima do Nível 1, conforme Resolução CONAMA 454/2012. Nesse sentido, foi proposta a disposição final do sedimento na porção da praia, indicada na Figura 2, o que permitirá estabilizar a erosão que já ocorre no local.

Foi proposta a implementação dos Programas de Monitoramento da Ictiofauna e de Monitoramento da Qualidade das Águas, com campanhas de amostragem

antecedendo o início das obras e perdurando durante a implantação do empreendimento.

De acordo com as informações apresentadas, foram realizadas reuniões para a apresentação do projeto à comunidade do Bairro Porto Novo, com a presença de autoridades e munícipes, como o Prefeito Municipal, Vice-Prefeito, Vereadores, Secretários municipais, pescadores, moradores dos bairros vizinhos e comunidade geral, além de entrevistas com a comunidade local para contribuições ao projeto de revitalização do rio Juqueriquerê.

ANÁLISE/CONSIDERAÇÕES

*O projeto de revitalização do rio Juqueriquerê e os estudos protocolizados foram avaliados pelo Parecer Técnico n° 069/19/I, que de forma sucinta concluiu que: (i) **as informações apresentadas permitiram obter uma compreensão significativa do padrão de transporte de sedimentos na região**; (ii) **as alternativas construtivas elencadas para os molhes dão garantia da preservação da praia**; e (iii) **o plano conceitual de dragagem atende aos requisitos da Resolução CONAMA 454/2012**.*

Tendo em vista o exposto e, considerando que:

- ***o projeto de revitalização do rio Juqueriquerê apresenta caráter de utilidade pública, por compreender obra de estrutura de apoio náutico (molhes) que permitirá condições de navegação mais seguras; além de atividades de dragagem que minimizarão as recorrentes inundações, de forma a melhorar a qualidade de vida da população local**;*

- ***o projeto apresentado foi resultado do estudo de diferentes alternativas técnicas e locacionais**, que levaram em conta aspectos técnicos, ambientais e econômicos;*

- ***foram previstas técnicas de engenharia para preservar a hidrodinâmica do ambiente de mangue** presente no entorno do empreendimento;*

- ***foi proposta a execução dos Programas de Monitoramento da Ictiofauna e da Qualidade das Águas** para avaliação de eventuais interferências das obras;*

- ***tem sido realizadas ações de comunicação junto à comunidade local, proporcionando esclarecimentos quanto ao projeto** e oportunidade de participação;*

- ***é previsto o uso benéfico de engordamento de praia para o sedimento a ser dragado no leito do rio Juqueriquerê e no canal interno entre os molhes** que serão construídos;*

- *a Resolução SMA 54/07 estabelece como linha de corte para o licenciamento ambiental de dragagem com avaliação de impacto trechos de cursos d'água com extensão superior a 5 km;*

- *os molhes propostos no projeto de revitalização podem ser enquadrados como "Classe B", conforme Resolução SMA 102/2013, que estabelece os procedimentos para o licenciamento ambiental de estruturas e instalações de apoio náutico no Estado de São Paulo;*

entende-se que o empreendimento não é passível de licenciamento ambiental no âmbito deste Departamento de Avaliação Ambiental de Empreendimentos – IE, ***devendo ser objeto de licenciamento ordinário junto à Agência Ambiental da CETESB de São Sebastião, considerando as recomendações do Parecer Técnico nº 069/19/I****. Caso seja necessária supressão de vegetação nativa e/ou intervenção em Área de Preservação Permanente – APP para a execução das atividades de dragagem no rio Juqueriquerê, também deverá ser obtida previamente a respectiva Autorização junto àquela Agência.*

Considerando o teor da Manifestação Nº 363/19/IE da Equipe técnica do Departamento de Avaliação Ambiental de Empreendimentos, IE, o conteúdo do Parecer Técnico Nº 069/19/I, a Prefeitura Municipal da Estância Balneária de Caraguatatuba, através da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Agricultura e Pesca, solicita a presente **LICENÇA AMBIENTAL PRÉVIA** (LP) para as atividades de desassoreamento e instalação de enroncamento na foz do Rio Juqueriquere, conforme informações e detalhamentos a seguir.

3. DESCRIÇÃO DO PROJETO

O projeto objeto do presente EAS consiste, em síntese, na construção de dois molhes respectivamente com 1.204m (molhe norte) e 1.366m (molhe sul), com largura entre as estruturas de 190m na extremidade localizada na costa e 100m na sua extremidade em direção ao mar.

A figura 12 (a seguir) exibe os trechos do Rio Juqueriquere e do Canal Interno dos Molhes que irão ser objeto de dragagem objetivando o aumento de capacidade de escoamento e a estabilização da Foz do Rio Juqueriquere.

Figura 12: trechos para execução de dragagem no trecho do Rio Juqueriquere e no trecho dos Molhes.

A locação geral do projeto está disponível na planta 1 que acompanha o presente requerimento, todas as estruturas e áreas de intervenção foram sobrepostas a mosaico gerado a partir de imagens Ortofoto IGC-SP 2010 LESTE[2] com coordenadas UTM Zona 23S *Datum* SIRGAS 2000.

3.1. Desassoreamento de Manutenção

O desassoreamento de manutenção previsto compreende trecho do Rio Juqueriquere de 3.385,36m determinado pelas coordenadas geográficas (1) 7379900N 455095E e (2) 7378073N 456441E, a ser Licenciado Ambientalmente no âmbito municipal conforme disposições da Lei Complementar Federal 140/2011 c/c disposições da Deliberação Normativa CONSEMA 01/2018.

As plantas 1, 2 e 3, em anexo, exibem respectivamente a Locação Geral do Projeto, a área de desassoreamento de manutenção no Trecho Rio Juqueriquere e a área de implantação dos molhes que irão constituir o enroncamento – as plantas estão expressas em coordenadas UTM Zona 23S, Datum SIRGAS 2000.

O termo "*desassoreamento*" pode ser definido como escavação ou remoção de solo ou rochas do fundo de rios, lagos, e outros corpos d'água através de equipamentos denominados "*dragas*". Em linhas gerais as operações de dragagem resultam em aumento da velocidade de escoamento das águas em um canal e também resultam em redução dos níveis hídricos em trechos à montante do curso d'água (DINIZ, 2007).

Em linhas gerais pode-se afirmar que existem dois sistemas de desassoreamento, a mecânico e a hidráulico.

O sistema de desassoreamento mecânico é utilizado principalmente para remoção de material sedimentar consolidado e/ou coesivo (cascalho, areia, argila, turfa, silte consolidado, etc.) e é executado através da aplicação direta de força mecânica utilizada para escavar o material depositado no leito. Este sistema, em função da sua forma de execução (escavação mecânica do fundo) provoca grandes alterações nas propriedades físico-químicas da água, sendo estas alterações decorrentes principalmente dos elevados índices de ressuspensão de material – via de regra as alterações físico-químicas geram considerável impacto sobre a ictiofauna.

Em situações onde o assoreamento é decorrente da deposição de material inconsolidado, caso do Rio Juqueriquerê, que apresenta camada pelítica pouco compactada depositada sobre os sedimentos marinhos, com espessura média de 0,15 metros, é possível a utilização de sistemas de desassoreamento hidráulico de sucção ou de recalque. Este sistema consiste, basicamente, na utilização de bombas de sucção montadas sobre embarcações – estas bombas são ligadas a bocais de aspiração os quais tem a função de sugar o material inconsolidado depositado no leito, esse material é então transportado por tubulação até o convés da embarcação onde é armazenado temporariamente em reservatório específico a bordo da embarcação – quando é atingida a capacidade máxima de armazenamento a embarcação desloca-se até um local específico onde ocorre o transbordo do material para local adequado de deposição em terra.

Os sistemas de desassoreameto hidráulico, por gerarem pouca ressuspensão de material, acarretam menos impactos ambientais, especialmente para a ictiofauna, sendo que nos Estados Unidos, este tipo de sistema é utilizado em aproximadamente 95% dos trabalhos de dragagem de águas interiores (DINIZ, 2007).

O desassoreamento a ser executado no Rio Juqueriquere baseia-se na utilização de draga de sucção e recalque com tubulação de 18 polegadas na sucção e 16 polegadas no recalque operando sobre plataforma flutuante (barca) sobre o trecho delineado. Este trecho, precisamente delimitado por coordenadas geográficas, será inicialmente delimitado com marcos altos e de fácil visualização/identificação, o que, em conjunto com o monitoramento através de sistema GPS, irá garantir que a retirada de material ocorra apenas no trecho previsto.

Ainda em relação a atividade de desassoreamento no Rio Juqueriquere, foi estabelecida uma distância mínima de 5 metros em ambas as margens, como pode ser observado na Planta 2, objetivando a não ocorrência de qualquer alteração na morfologia do rio ou qualquer tipo de intervenção em áreas de preservação permanente

3.1.1. Características Físico-Químicas do Material Dragado

Na elaboração do "*Estudo da Hidrodinâmica e Transporte de Sedimentos na Barra do Rio Juqueriquere – Relatório Final*" (em anexo) foram realizadas amostras do sedimento no leito do rio Juqueriquerê, distribuídas entre a ponte da rodovia e a barra do rio, com dois pontos adentrando ao mar, mas ainda no canal de navegação do rio Juqueriquerê. Estas amostras foram submetidas a análises químicas que seguiram os métodos preconizados no "*STANDARD*

METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTERWATER", na sua última edição, em laboratório creditado conforme diretrizes INMETRO e Norma NBR ISO/IEC 17.025 de sistema de qualidade analítica. A figura 13 (a seguir) exibe a localização dos pontos amostrais utilizados para caracterização dos sedimentos na área a ser dragada.

Figura 13: Localização dos 6 pontos de amostragem de sedimentos para a caracterização química conforme a Resolução CONAMA 454/2012.

Em cada ponto amostral foram analisadas todas as substâncias relacionadas na Resolução CONAMA 454/2012 – os resultados estão disponíveis no item 3.5 do "*Estudo da Hidrodinâmica e Transporte de Sedimentos na Barra do Rio Juqueriquere – Relatório Final*" (fl.91), e demonstram que os níveis de compostos contaminantes ocorrem em concentrações inferiores aos limites estabelecidos pela resolução citada, desta forma é possível concluir que as atividades de desassoreamento, tanto no trecho do Rio Juqueriquere quanto no trecho Molhes, não apresentam potencial de redução de qualidade das águas.

3.1.2. Granulometria do Material Dragado

As tabelas 1 e 2 (a seguir) relacionam os resultados granulométricos nos pontos amostrais indicados na figura 4.

Frações	P01	P02	P03	P04	P05	P06
Areia muito grossa	< 0,110	0,177	0,241	0,456	4,56	4,66
Areia grossa	0,452	1,29	0,286	0,440	4,69	45,7
Areia média	4,87	15,8	4,55	2,23	4,47	40,5
Areia muito fina	44,7	16,0	46,5	53,1	24,5	1,85
Areia fina	46,9	65,1	44,0	23,4	13,8	5,67
Silte	1,31	0,748	1,78	13,4	34,2	0,724
Argila	1,76	0,840	2,71	6,72	13,8	0,840

Tabela 2: resultado das Análises Granulometricas nos pontos amostrais de sedimentos ao longo da área a ser dragada.

Frações (%)	P01	P02	P03	P04	P05	P06
Areia (todas as frações)	96,92	98,37	95,58	79,63	52,02	98,38
Lama (silte+argila)	3,07	1,59	4,49	20,12	48,00	1,56

Tabela 3: Tabela resumo das Análises Granulométricas.

Em relação à destinação, em função das características dos materiais, definiu-se que o material dragado no trecho rio (pontos 4 a 6) serão destinados a área de secagem (*bota-espera*) onde ocorrerá armazenamento até redução natural da humidade relativa, sendo posteriormente este material destinado a utilização em obras públicas (embasamento de vias públicas, material de aterro para construções de novos prédios públicos, etc.).

Em relação ao material produzido na implantação do enroncamento (pontos 1 a 3), em função do predomínio significativo da fração areias (superior à 95%), o material será destinado a engorda de praia na faixa de praia existente ao sul do empreendimento, área que atualmente apresenta significativo processo de erosão costeira, nesse sentido, destaca-se trecho da Manifestação Nº 363/19/IE o qual conclui que "*é previsto o uso benéfico de engordamento de praia para o sedimento a ser dragado no leito do rio Juqueriquerê e no canal interno entre os molhes que serão construídos*".

3.2. Molhes

Segundo Benevides e Alfredini (2011) o desassoreamento do trecho jusante do Rio Juqueriquere não apresenta capacidade de solucionar de maneira definitiva a ocorrência de enchentes e alagamentos na região, solução esta que passa, invariavelmente, pela implantação de molhes guias-correntes.

Objetivando construir solução efetiva para os problemas de enchentes e alagamentos na porção sul do município, talvez a mais populosa, em 2017 a Prefeitura Municipal da Estância Balneária de Caraguatatuba, através da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Agricultura e Pesca, contratou a realização de estudos da hidrodinâmica e transporte de sedimentos na barra do Rio Juqueriquerê, em Caraguatatuba, SP, com vistas a fornecer parâmetros para o projeto de enrocamento, estabilização de sua foz e subsídio ao Licenciamento Ambiental.

Os estudos foram conduzidos entre dezembro de 2017 a setembro de 2018. Neste período, foram gerados relatórios parciais, cuja finalidade foi descrever o desenvolvimento das atividades, quer sejam os trabalhos de campo, de escritório e de laboratório, reuniões públicas e dados parciais, sendo todas as informações produzidas reunidas no "*Estudo da Hidrodinâmica e Transporte de Sedimentos na Barra do Rio Juqueriquere – Relatório Final*" (em anexo).

Foram desenvolvidas as seguintes atividades:

1) Levantamento de dados secundários disponibilizados na literatura;
2) Trabalhos campo e tratamento dos dados dos Perfis de Praia;
3) Coleta de amostras de sedimentos para análises;
4) Resultados das análises químicas;
5) Resultados das análises granulométricas;
6) Realização do levantamento batimétrico no Rio Juqueriquerê;
7) Realização de levantamento batimétrico na área marinha adjacente;
8) Instalação de equipamento para medição de ondas e marés;
9) Medição da direção e intensidade das correntes marinhas;
10) Tratamento dos dados batimétricos;
11) Tratamento dos dados oceanográficos;
12) Implementação e validação do Modelo Hidrodinâmico;
13) Implementação e validação do Modelo de Transporte de sedimentos;
14) Sugestão e análise de alternativas de geometrias de enrocamentos.

Com base nas atividades desenvolvidas e nas informações produzidas foram definidas 4 alternativas de geometria para os molhes as quais foram submetidas a simulação através de simulação numérica utilizando o Modelo DELFT3D (desenvolvido pelo WF|Delft Hydraulics) e o "*Sistema de Modelado Costero*" (SMC), desenvolvido pelo "*Grupo de Ingenieria Oceanografica y de Costas*" (GIOC) da Universidade de Cantabria e Direção Geral de Costas do Ministério do Meio Ambiente da Espanha.

O item 3.8 do "*Estudo da Hidrodinâmica e Transporte de Sedimentos na Barra do Rio Juqueriquere – Relatório Final*" (em anexo) apresenta toda a análise realizada para a seleção da alternativa mais adequada, a qual em síntese consiste dois molhes retilíneos, perpendiculares à linha de costa, porém com um afunilamento do canal em seu acesso. Os molhes apresentam o mesmo comprimento (Sul e Norte), e alcançam até a profundidade de 1,5 metros (com cerca de 1.270 metros de extensão).

A figura 14 (a seguir) exibe a alternativa geométrica que obteve os melhores resultados na análise multicritérios realizada.

Figura 14: alternativa geométrica que obteve os melhores resultados na análise multicritérios.

As plantas 3, 4, 5 e 6, que seguem em anexo, exibem, respectivamente, detalhes das "Raízes" dos Molhes Norte e Sul (ponto de amarração da estrutura na costa), o Detalhamento dos Molhes, os Perfis Longitudinais dos Molhes Norte e Sul e as Seções Transversais dos Molhes Norte e Sul.

Estruturas de enrocamento, conhecidas como “molhes”, são estruturas costeiras de seção transversal trapezoidal, que constituem um obstáculo à propagação normal da agitação das ondas, permitindo a quebra da sua energia. O mecanismo de quebra está relacionado com a percolação no seu interior e com a arrebentação da agitação no próprio talude.

Estas estruturas são constituídas por uma camada resistente dimensionada para resistir à ação das ondas, por filtros de enrocamento e por um núcleo de enrocamento com dimensões variáveis.

No presente projeto serão utilizados blocos de pedras naturais para composição da estrutura, devido à disponibilidade deste material.

Os taludes de enrocamento podem variar na ordem de 1:1,5 a 1:3 (V:H), de acordo com o material empregado, mantendo o talude o mais acentuado possível, dentro das características do material empregado, de modo a obter a máxima economia.

Como demonstra a planta 6 (em anexo), que detalha as seções transversais nos pontos notáveis dos molhes (raiz, ponto de inflexão, cota batimétrica de 1 metro e extremidade), os molhes previstos apresentaram “*coroa*” (porção plana no topo da estrutura) com 5 metros de largura, com altura acima do nível zero hidrográfico (porção emersa) de 1,5 metros e razões V:H (vertical:horizontal) variando entre 1:1.86 a 1:2.58 na extremidade do molhe sul e 1:6.73 na extremidade do molhe norte, onde está prevista a instalação de um farol náutico.

As especificações técnicas e de engenharia da estrutura dos molhes, parâmetros e formas de controle geométrico da obra e todos os demais parâmetros de execução serão definidos no Projeto Executivo objetivando incorporar as exigências e condicionantes estabelecidas pelo órgão licenciador.

3.3. Monitoramento

Considerando a natureza das atividades a serem desenvolvidas os principais impactos potenciais decorrentes relacionam-se à ressuspensão de material e consequente aumento de turbidez das águas e impactos potenciais à ictiofauna.

Em relação à estes possíveis impacto propõe-se, como medida de controle e monitoramento, o acompanhamento constante do grau de materiais em suspensão na coluna d'água, com apresentação de relatórios de acompanhamento em periodicidade quinzenal, relatórios de monitoramento de potenciais impactos à ictiofauna e carcinofauna com periodicidade de apresentação mensal.

4. CONCLUSÃO E PEDIDOS

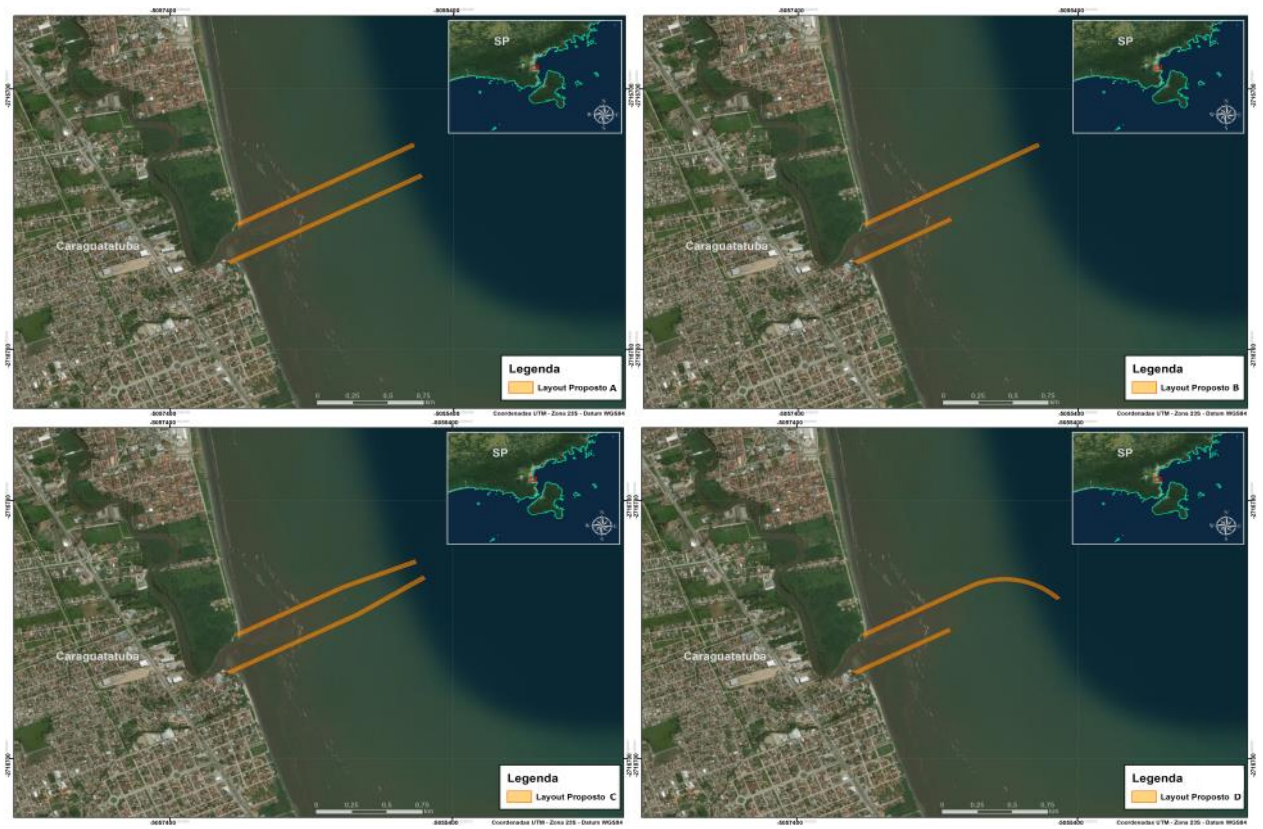
Por todo o exposto, e considerado o que consta no Parecer Técnico Nº 069/19/I e na Manifestação Nº 363/19/IE da Equipe técnica do Departamento de Avaliação Ambiental de Empreendimentos (IE), a Prefeitura Municipal da Estância Balneária de Caraguatatuba, através da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, solicita a aprovação do presente **ESTUDO AMBIENTAL SIMPLIFICADO (EAS)** para o Projeto de Enroncamento do Rio Juqueriquerê conforme plantas que seguem em anexo, para obtenção da respectiva LICENÇA AMBIENTAL PRÉVIA E DE INSTALAÇÃO (LP/LI).

Em anexo: (1) Estudos Ambientais e Oceanográfico (FDTE), (2) Planta de Locação Geral, (3) Planta Desassoreamento Manutenção Trecho Interno Rio Juqueriquerê (licenciamento municipalizado), (4) Detalhamento "Raiz" dos Molhes, (5) Detalhamento Molhes, (6) Detalhamento Perfis Longitudinais, (7) Detalhamento Perfis Transversais, (8) Parecer Técnico CETESB Nº 069/19/I, (9) Parecer Técnico CETESB Nº 363/19/IE, (10) Relatório de Vegetação Área de Mangue (11) Relatório de Vegetação Área Raiz Molhe Norte, (12) Relatório de Vegetação Molhe Sul.

Caraguatatuba, 20 de julho de 2020.

RONALDO CHEBERLE – OCEANÓGRAFO
Diretor Municipal de Meio Ambiente
Matrícula 14026

FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA



Estudos da Hidrodinâmica e Transporte de Sedimentos na Barra do Rio Juqueriquerê, com Vistas a Fornecer Parâmetros para o Projeto de Enrocamento, Estabilização de sua Foz e Subsídio ao Licenciamento Ambiental

RELATÓRIO FINAL

RFF.280918

Prefeitura Municipal da Estância Balneária de Caraguatatuba

Outubro de 2018

FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA

FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA

Projeto Juqueriquerê

Título do Estudo: Estudos da hidrodinâmica e transporte de sedimentos na barra do Rio Juqueriquerê, com vistas a fornecer parâmetros para o projeto de enrocamento, estabilização de sua foz e subsídio ao Licenciamento Ambiental.

DOCUMENTO: Relatório Final – RFF.280918

DATA: 09 de Outubro de 2018

CONTRATANTE:

Prefeitura Municipal da Estância Balneária de Caraguatatuba
Ilmo.Secretário Marcel Luiz Giorgeti
Secretário do Meio Ambiente, Agricultura e Pesca
Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Agricultura e Pesca
Av. Santos Dummont, 502
Centro – Caraguatatuba - SP
End. Elet.: marcel.santos@caraguatatuba.sp.gov.br
Fone: (12) 3897 2530

CONTRATADA:

Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia - FDTE
Eng. Sandra Monteiro
Operações / Comercial
Av. Afrânio Peixoto, 412 - Butantã
São Paulo - SP - CEP: 05507-000
Fone: (11) 3132 4000
End. Elet.: s.monteiro@fdte.org.br

Coordenação:

Dr. Bauer R. F. Rachid
Oceanógrafo
End. Elet.: bauer.oceano@gmail.com
Fone: (11) 99201 0032

Sumário

1. INTRODUÇÃO 4

2. OBJETIVOS 7

3. ATIVIDADES REALIZADAS 8

3.1. Caracterização Preliminar da Região do Rio Juqueriquerê 10

3.1.a. A Enseada de Caraguatatuba 10

3.1.b. A Circulação Atmosférica e Clima 12

3.1.c. A Dinâmica Sedimentar na Enseada 19

3.1.d. A Evolução Temporal da Foz do Rio Juqueriquerê 21

3.1.e. Componentes biológicos da região 26

3.1.f. Qualidade das águas e sedimentos 36

3.1.g. Alguns Registros Históricos da Região 37

3.2. Parâmetros Geodésicos Empregados nos Levantamentos 60

3.3. Perfil de Praia 62

3.4. Granulometria dos Perfil de Praia 75

3.5. Análises Físico-Químicas 79

3.6. Levantamento batimétrico 93

3.7. Dados Oceanográficos 107

3.7.1 Temperatura 116

3.7.2 Elevação (Maré) 117

3.7.3 Ondas 119

3.7.4 Correntes 131

3.7.5. Ventos 139

3.8. Modelagem Numérica 141

3.8.1 Modelagem do Campo de Correntes 142

3.8.2 Descrição do Modelo DELFT3D-FLOW 143

3.8.3. Modelos hidrodinâmico, de ondas e de transporte de sedimentos 155
3.8.4. Modelagem Numérica SMC 182
3.8.5. Modelagem de Ondas 183
3.8.6. Modelagem de Correntes 187
3.8.7. Discretização do Domínio e da Batimetria 192
3.8.8. Condições de Contorno 195
3.8.9. Resultados do Modelo 197
3.8.10. Modelagem de transporte de sedimentos 206
3.8.11. Resultados do Transporte de Sedimentos 212
3.8.12. Análise de Estabilidade a Longo Prazo 221
3.8.13. Enrocamentos (ou Molhes) para Proteção do Canal de Acesso 227
3.8.14. Complementação das Alternativas 239
4. Relação com a Comunidade e Contato com as Entidades Representativas da Atividade Pesqueira 252
4.1. Aviso do Fundeio do ADCP 252
4.2. Relação com a Comunidade 254
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 257
5. BIBLIOGRAFIA 260
ANEXOS 264

1. INTRODUÇÃO

Este Relatório Final visa consolidar as atividades realizadas nos estudos da hidrodinâmica e transporte de sedimentos na barra do Rio Juqueriquerê, em Caraguatatuba, SP, com vistas a fornecer parâmetros para o projeto de enrocamento, estabilização de sua foz e subsídio ao Licenciamento Ambiental.

O presente estudo foi conduzido entre dezembro de 2017 a setembro de 2018. Neste período, foram gerados relatórios parciais, cuja finalidade foi descrever o desenvolvimento das atividades, quer sejam os trabalhos de campo, de escritório e de laboratório, reuniões públicas e dados parciais. Todas as informações constantes nos relatórios parciais constam nesse relatório final, bastando sua leitura para o conhecimento de todas as atividades realizadas, do planejamento às considerações finais.

O projeto em pauta foi desenvolvido com de modo a possibilitar o entendimento da hidrodinâmica e do transporte de sedimento na foz do Rio Juqueriquerê, dando assim, suporte ao processo de sua revitalização, readequação à segurança da navegação e estabilização da sua barra.

Nesse sentido, a Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia - FDTE foi contratada para a realização de um escopo que contemplou a coleta de amostras de sedimentos e de dados oceanográficos, levantamentos batimétricos e estudo de modelagem da dinâmica costeira, como subsídio aos projetos de engenharia e suporte ao processo de licenciamento ambiental que se farão seguir.

A FDTE foi instituída em 1972, como a Fundação de Apoio à Escola Politécnica. Atua como ferramenta de intercâmbio entre o conhecimento desenvolvido na Universidade e as empresas dos setores público e privado. Desde a sua instituição, a FDTE executou mais de 1200 projetos, grande parte em conjunto com docentes e pesquisadores da Escola Politécnica da USP. Por sua ligação com a POLI, a FDTE tem acesso ao que existe de mais moderno em várias das áreas da engenharia: construção civil, hidráulica e hidrologia, mecânica, naval,

elétrica, eletrônica e mecatrônica, química, materiais e metalurgia, minas e petróleo, e ambiental. Para este projeto, a FDTE contou com profissionais oriundos do Instituto Oceanográfico da USP. São profissionais especializados, com ampla atuação em pesquisa e avaliações ambientais, com experiência em consultorias para o setor público e privado, conhecedores do tema em pauta e da localidade do presente estudo, buscando sempre atender a demanda e o cliente da melhor forma.

Para o presente trabalho, foi sendo utilizado o que há de mais moderno em termos de ferramentas computacionais e conhecimento científico/tecnológico, visando o acoplamento dos resultados da modelagem, dados e informações locais para a elaboração das melhores alternativas de projeto para o enrocamento na foz do Rio Juqueriquerê.

A barra do Rio Juqueriquerê, no trecho Sul do município de Caraguatatuba, é um ambiente já estudado pela presente equipe, que tem conhecimento das questões socioambientais, além das complexas interações e dinâmica da geomorfologia costeira da região, agregando robustez aos estudos que serão realizados. Esse projeto pretende trazer informações que permita a tomada de decisões adequadas ao empreendedor e ao órgão licenciador, mas principalmente, dar conforto e segurança à navegação ao usuário final, ou seja, aqueles pescadores que tem a barra do Rio Juqueriquerê como seu único caminho diário ao mar.

Assim, torna-se essencial o conhecimento, avaliação e prognóstico da tendência da nova configuração da linha de costa, um ponto chave desse estudo, com análises e medidas para se prever geometrias favoráveis, eficientes e ambientalmente adequadas.

A foz do Rio Juqueriquerê, em Caraguatatuba, tem processos hidrodinâmicos e de transporte de sedimento intensos, criando bancos de areia e meandros itinerantes que dificultam sobremaneira as entradas e saídas de embarcações. A geomorfologia costeira na região atua de forma dinâmica, criando processos erosivos e deposicionais constantes, reduzindo a durabilidade efetiva de dragagens periódicas para manutenção do calado de navegação de embarcações

pesqueiras ou de turismos no rio, ou mesmo, trazendo vida curta às marcações do canal navegável. Dessa forma, visando à segurança de navegação na área, uma estabilização de suas margens se faz necessário, incluindo a construção de molhes, ou enrocamentos, em ambas as margens, com dragagem à posterior.

Os estudos aqui propostos visam não somente auxiliar no processo de licenciamento ambiental do enrocamento a ser implantado na foz do Rio Juqueriquerê, mas também dar suporte construtivo ao mesmo, bem como prognosticar eventuais alterações ambientais produzidas pelas estruturas que serão construídas.

É consenso, do ponto de vista da engenharia costeira e do licenciamento ambiental, a necessidade de realizar estudos hidrodinâmicos antes de iniciar empreendimentos construtivos na zona costeira, visto o potencial de interferência de suas forçantes, com consequências que podem ser inesperadas ou até mesmo desastrosas.

A dinâmica de transporte de sedimentos nessa área é regida por fatores como marés, correntes, ventos, relevo, entre outras forçantes que atuam associadas. Uma alteração no fluxo de algum desses fatores, como a obstrução provocada por uma obra civil, pode levar a um desequilíbrio das correntes de deriva e de transporte sedimentar, que em sendo de ordem significativa, pode apresentar potencial de alteração dos processos de erosão e deposição sedimentar da linha de costa.

Dessa forma, o presente estudo teve por objetivo utilizar equipamentos, softwares e conhecimentos tecnológicos para oferecer um arcabouço de dados e estudos visando dar conforto técnico e construtivo ao empreendedor, projetista e analista ambiental no sentido de que o empreendimento em questão foi avaliado quanto aos seus potenciais impactos, e cujas projeções e prognósticos permitem a análise da eventual ocorrência de impactos associados ao enrocamento.

Em seguida estão apresentadas as atividades desenvolvidas no escopo desse projeto.

2. OBJETIVOS

Os objetivos gerais deste projeto consistem na realização de estudos na foz do Rio Juqueriquerê de modo a entender sua dinâmica, conhecer a qualidade dos sedimentos, mapear o fundo, propor uma geometria eficiente e ambientalmente adequada para estabilização da barra, assim como avaliar previamente eventuais alterações ambientais provocadas pela implantação de um enrocamento.

Este relatório tem como objetivo específico apresentar as atividades realizadas, a saber:

1- Levantamento de dados secundários disponibilizados na literatura;

2- Trabalhos campo e tratamento dos dados dos Perfis de Praia;

3- Coleta de amostras de sedimentos para análises;

4- Resultados das análises químicas;

5- Resultados das análises granulométricas;

6- Realização do levantamento batimétrico no Rio Juqueriquerê;

7- Realização de levantamento batimétrico na área marinha adjacente;

8- Instalação de equipamento para medição de ondas e marés;

9- Medição da direção e intensidade das correntes marinhas;

10- Tratamento dos dados batimétricos;

11- Tratamento dos dados oceanográficos;

12- Implementação e validação do Modelo Hidrodinâmico;

13- Implementação e validação do Modelo de Transporte de sedimentos;

14- Sugestão e análise de alternativas de geometrias de enrocamentos.

3. ATIVIDADES REALIZADAS

Os diferentes estudos realizados para suporte às definições de projeto da estabilização da foz do Rio Juqueriquerê foram descritas nos relatórios parciais e estão aqui reproduzidas, acrescidas das novas atividades e análises finais deste projeto.

Foram realizadas três campanhas, fornecendo subsídios para a avaliação da dinâmica morfológica e sedimentar da região e caracterização do material sedimentar depositado ao longo da calha do Rio Juqueriquerê e região costeira adjacente.

Na primeira campanha, ocorrida entre 11 e 14 de dezembro de 2017, foram realizados os levantamentos topográficos de 18 perfis de praia, coletadas 36 amostras de sedimento (2 em cada perfil) para análise granulométrica e também foram realizadas amostragens de sedimento em 6 pontos ao longo do canal navegável do rio e da zona costeira para caracterização do material a ser futuramente dragado, de modo a atender a Resolução CONAMA n° 454/12.

Na segunda campanha, entre os dias 18 e 24 de janeiro de 2018, foi realizado levantamento batimétrico ao longo setor terminal do curso fluvial do Rio Juqueriquerê, entre sua foz e a ponte da Rodovia Manoel Hypólito Rego, bem como da área marinha contígua à sua desembocadura. Nesta campanha, também foi realizado o fundeio do ADPC, um perfilador acústico de correntes dotado de sistema Waves Array®, para medições direcionais de onda, além de sensores de temperatura e pressão.

A terceira campanha foi realizada entre os dias 13 e 15 de junho de 2018, contemplando a instalação do ADCP para coleta de dados de marés, ondas e correntes no período de inverno, como também a realização de uma nova batimetria localizada visando complementação de trechos entre a foz do rio e a parte marinha do levantamento anterior.

A Figura 3-1, apresentada em seguida, consolida as atividades de campo realizadas, indicando a área de batimetria no mar, o trecho do rio onde também foi realizado o levantamento batimétrico, os 18 perfis de praia (9 para cada lado da barra), os 6 pontos de coleta de sedimento para análises químicas, além dos 3 pontos de instalação do receptor para o rastreio das coordenadas.

Figura 3-1.: Área de estudo com localização dos levantamentos de campo realizados.

Em seguida seguem capítulos com as descrições das atividades realizadas.

3.1. Caracterização Preliminar da Região do Rio Juqueriquerê

A dinâmica sedimentar de uma desembocadura fluvial no meio marinho representa a somatória de um complexo conjunto de interações hidrodinâmicas, condicionadas pelas alterações atmosféricas e seus reflexos sobre a descarga fluvial, os ventos, as ondas e as correntes costeiras.

A dinâmica marinha costeira no litoral sudeste sul brasileiro também é fortemente condicionado pela ação de ventos, ondas e correntes associados aos padrões meteorológicos deste segmento litorâneo.

A dinâmica sedimentar da foz do rio Juqueriquerê, na enseada de Caraguatatuba, no litoral norte do estado de São Paulo, corresponde a uma feição sedimentar proeminente resultado não apenas da interação dos fluxos fluvial e marinho, mas, principalmente, da interação destes componentes com uma configuração geomorfológica representativa de uma área costeira abrigada, à retaguarda da Ilha de São Sebastião.

O regime fluvial do rio Juqueriquerê, principalmente seu volume de descarga líquida e sólida, na enseada de Caraguatatuba é diretamente dependente dos ciclos atmosféricos e, consequentemente, do volume de precipitação pluvial.

A feição arenosa presente na desembocadura deste rio representa ao longo do tempo, a resposta sedimentar desta complexa interação gerando dificuldades para a navegação entre o canal fluvial e o oceano.

3.1.a. A Enseada de Caraguatatuba

A Planície de Caraguatatuba é limitada a sul e sudeste pelas serras de São Sebastião ou Juqueriquerê, com 700exerce a 800 metros de altitude, e pela ilha de São Sebastião cujos topos alcançam 1.300 a 1.400 metros, separada do continente por um canal de até 50 metros de profundidade. A oeste, norte e nordeste é delimitada pelas escarpas da serra de Caraguatatuba e por morros baixos e isolados (Cruz et.al,1985). Segundo Teissedre at.al. (1981) a planície de

Caraguatatuba estende-se por aproximadamente 12 km e sua largura máxima alcança 7 km.

"Restos de terraços marinhos com 7 a 8 metros de altura, ligados a Transgressão Cananéia (Suguio e Martin, 1978), muito dissecados pela erosão, encontram-se sobretudo na parte norte da planície. Por detrás dos cordões mais antigos, relacionados a Transgressão Santos, encontra-se uma extensa zona baixa de paleolaguna formada por argilas orgânicas." (Farinaccio e Tessler, 2006).

De acordo com Souza (1990), a enseada é circundada por ilhas e pontões do embasamento encontrando-se abrigada da incidência direta das ondas provenientes dos quadrantes a sul e sudoeste.

"A Enseada de Caraguatatuba caracteriza-se por um fundo raso, de baixa energia, com sedimentos finos, pouco selecionados e morfoscopicamente imaturos, à exceção das porções junto ao núcleo urbano de Caraguatatuba e às praias de Martim de Sá e Massaguaçu, onde os sedimentos são mais grossos e imaturos e a ação de ondas é mais efetiva". (Souza, 1990)

A região a sul da enseada de Caraguatatuba, onde se localiza a foz do rio Juqueriquerê, apresenta-se como uma planície muito plana, levemente mergulhante em direção ao oceano (1 a 2 graus), coberta por sedimentos arenosos muito finos a finos, designada por Souza e Furtado (1987) como um ambiente de "planície de maré".

Nesta feição única dominada por marés inferiores a 2 metros (micromarés), se desenvolveu uma área de manguezal atualmente recoberto por sedimentos arenosos.

"Nas proximidades da desembocadura do rio Juqueriquerê praticamente não existe zona supramaré, pois toda a área praial é inundada durante as preamares" (Souza, 1990).

De acordo com Furtado (1978), nesta área mais ao sul da enseada, se pronuncia uma feição arenosa alongada, barra arenosa submersa, que isola dois trechos com características batimétricas opostas. No trecho adjacente ao continente as profundidades são muito rasas (< 7m), e decrescem lentamente em direção ao interior do canal de São Sebastião. No trecho adjacente à Ilha de São

Sebastião as profundidades decrescem rapidamente na direção da enseada, caracterizando uma rampa de forte gradiente.

3.1.b. A Circulação Atmosférica e Clima

No litoral Sul – Sudeste brasileiro, a circulação atmosférica constitui a base de compreensão da origem e do sentido dos deslocamentos das correntes litorâneas de fundo.

Todavia, para caracterizar a região, devem ser abordados os principais de fenômenos meso e macroesla que atuam na região de Caraguatatuba e descritos os principais parâmetros meteorológicos (temperatura, vento, precipitação, etc).

Os fenômenos de mesoescala são que aqueles com dimensões na ordem 1 a 10 quilômetros e duração na ordem de 1hora até 1 dia. Dois importantes fenômenos de mesoescala que atuam na região são resultantes da interação oceano, atmosfera e continente: a brisa marítima e a brisa terrestre. Estes fenômenos são gerados pelo aquecimento diferenciado entre o continente e o oceano, devido a maior capacidade térmica da água.

De maneira geral, a incidência solar aquece o continente mais rapidamente do que o oceano e consequentemente a camada de ar adjacente ao continente também é aquecida. Ao longo do dia, este processo de aquecimento cria massas de ar com diferentes densidades, menos densa sobre o continente e mais densa sobre o oceano, criando assim uma instabilidade que culmina com o direcionamento da massa mais densa (oceânica) para o continente, resultando a brisa marítima. Durante a noite, o continente esfria rapidamente (emissão de ondas longas), consequentemente esfriando a massa de ar adjacente, enquanto que o oceano perde calor lentamente, resultando no fluxo de ar em direção ao oceano, brisa terrestre (Simpson, 1994 e Oliveira & Silva Dias, 1982)

Outro fenômeno conhecido de mesoescala que atua na região é a circulação vale-montanha, que também é caracterizado pelo aquecimento diferenciado de superfícies. No período noturno o ar em contato com o solo mais frio aumenta a

densidade e tendem a fluir pela encosta e acumular nos vales (vento catabático). Durante o dia, o ar próximo a superfície do topo da montanha se aquece mais rapidamente tornando-se menos denso e o vento sopra do vale para a montanha (vento anabático) (Varejão-Silva, 2006).

Os fenômenos de macroescala são que aqueles com dimensões de centenas de quilômetros e duração na ordem de 1 dia até 1 meses. Os fenômenos de macroescala que estão associados à região de estudo são conhecidos por um acentuado dinamismo meteorológico responsável, como por exemplo, passagens de sistemas distintos: extratropicais (frentes frias, originados nas altas e médias latitudes do hemisfério sul) e intertropicais (frentes quentes, originados no interior do continente e no oceano em latitudes subtropicais) (Monteiro, 1973)

São dois os sistemas de massa de ar que condicionam a circulação atmosférica nesta região, e, por consequência, os sistemas de ondas que se propagam para o litoral paulista a partir dos centros de geração localizados no oceano Atlântico Sul. Estes sistemas são o de predomínio do Anticiclone Tropical Atlântico Sul (ATA) e os dos Anticiclones Polares Migratórios (APM).

Dada a localização da ATA, a leste da costa, os sistemas de ondas, gerados pelos ventos anti-horários que dele se originam, ao atingirem a linha de costa, cuja orientação geral é NE-SW, ocasionam a formação e a propagação de correntes de deriva litorânea de rumo geral para sudoeste.

Porém, este domínio atmosférico é modificado pelo deslocamento de frentes polares relacionadas ao APM. O desenvolvimento de tais sistemas frontais provoca as conhecidas perturbações frontais, que acarretam, ao par de intensa precipitações pluviométricas, mudanças na direção dos ventos predominantes que passam a vir dos quadrantes a sul.

Estes sistemas de ventos são os responsáveis pelo predomínio de trens de ondas de SW e SE, geradoras de correntes de deriva litorânea que percorrem a costa no rumo geral nordeste.

Em seu deslocamento a frente fria gera ventos em sentido horário, enquanto que à sua retaguarda o centro de alta pressão gera ventos em sentido anti-horário. Em decorrência, dado um ponto da costa sudeste-sul brasileira, o deslocamento do

ciclone sobre o oceano, rumo as latitudes mais baixas, faz com que os ventos e as ondas a eles associados, passem de S-SE para N-NE. Esta mudança do quadrante de origem das ondas modifica o padrão de deriva costeira.

Fernandes e Jacondino (2006) fizeram uma análise dos sistemas frontais de 3 períodos (1975 a 1984, 1987 a 1995 e 1996 a 2004) que passaram entre as latitudes 25°S e 20°S (faixa latitudinal que compreende a região, Figura 3.1.b.a). No geral, observa-se na figura um aumento de sistemas frontais na primavera para os 3 períodos e terceiro período (1996 a 2004) um aumento das médias mensais no decorrer dos 3 períodos.(principalmente entre os meses de fevereiro a julho).

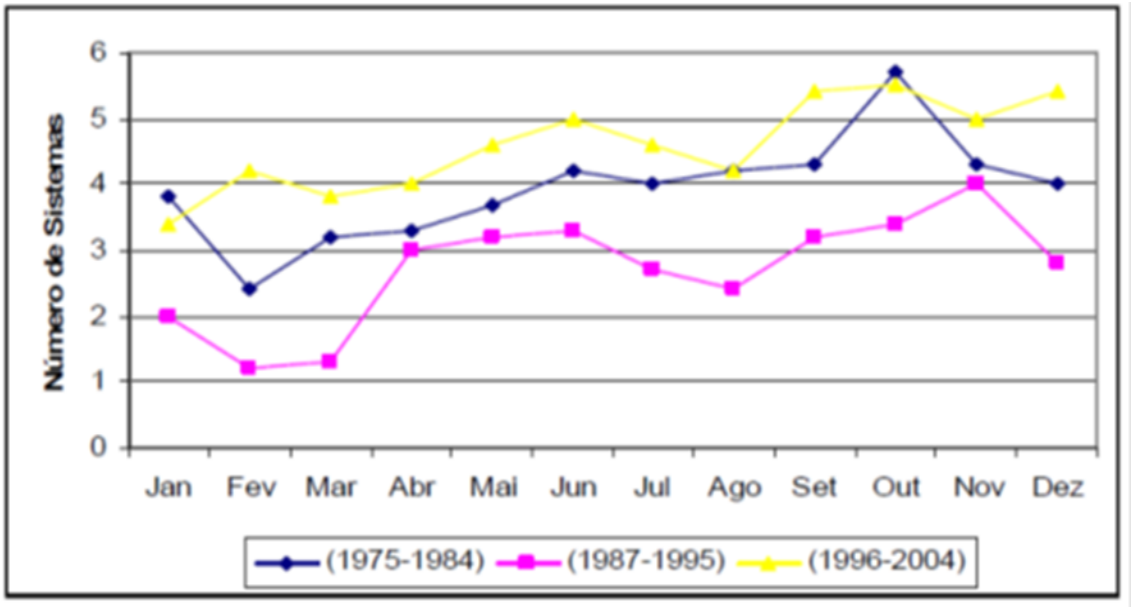


Figura 3.1.b.a: Média do número de sistemas frontais para 3 períodos distintos entre as latitudes 25°S e 20°S (extraído de Fernandes & Jacondino, 2006).

Para caracterizar climatologicamente a região onde situa o Rio Juqueriquerê, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) recomenda o uso de normais climatológicas. Uma normal climatológica é definida pela OMM como “valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas”. A estação meteorológica mais próxima com dados disponíveis de 3 décadas (1961-1990) fica em Ubatuba,

portanto neste trabalho será utilizado estes dados que são disponibilizados no website do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia - www.inmet.gov.br/).

As figuras de 3.1.b.b a 3.1.b.f mostra a distribuição mensal das seguintes variáveis: insolação, nebulosidade, pressão atmosférica, temperatura e precipitação acumulada. Os valores médios, mínimos e máximos dessas variáveis estão apresentados na tabela 3.1.b.

Tabela 3.1.b. Normais climatológicas de 1961 a 1990 de Ubatuba, valores mensais mínimos, máximos e médios.

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Médio
Insolação Total (horas)	104,3	157	139,2
Intensidade do Vento ($m.s^{-1}$)	0,7	0,89	0,8
Nebulosidade (décimos)	0,5	0,8	0,7
Precipitação Acumulada Mensal e Anual (mm)	79,9	350,8	216,4
Pressão Atmosférica (hPa)	1009,3	1016,6	1012,6
Temperatura Máxima (°C)	24,1	30,3	26,8
Temperatura Média Compensada (°C)	17,7	25,2	21,7
Temperatura Mínima (°C)	12,8	20,8	17,3
Umidade Relativa do Ar Média Compensada (%)	85,0	88	86,4

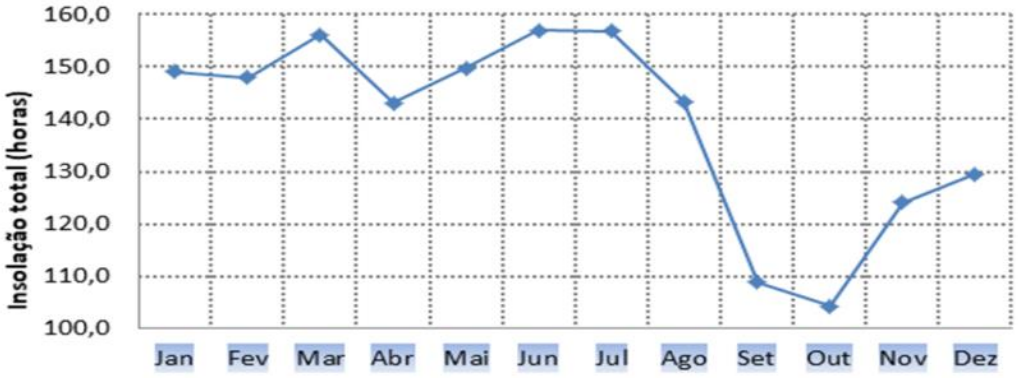


Figura 3.1.b.b: Normal climatológica de insolação total (horas) de 1961 a 1990 de Ubatuba.

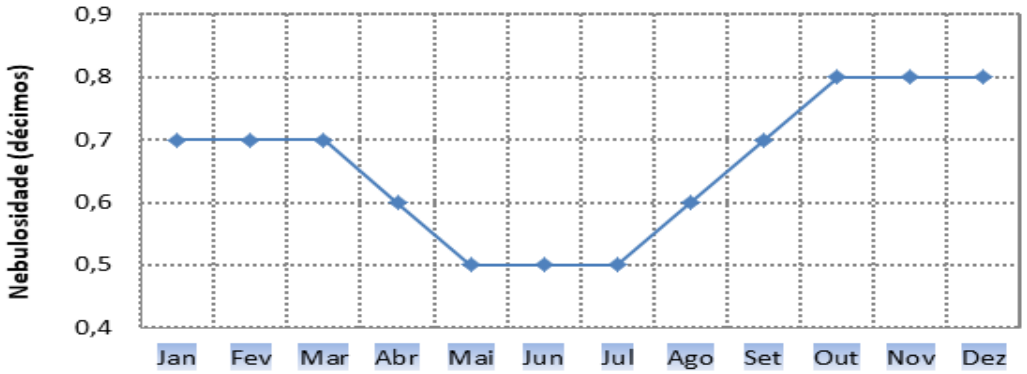


Figura 3.1.b.c: Normal climatológica de nebulosidade (décimos) de 1961 a 1990 de Ubatuba.

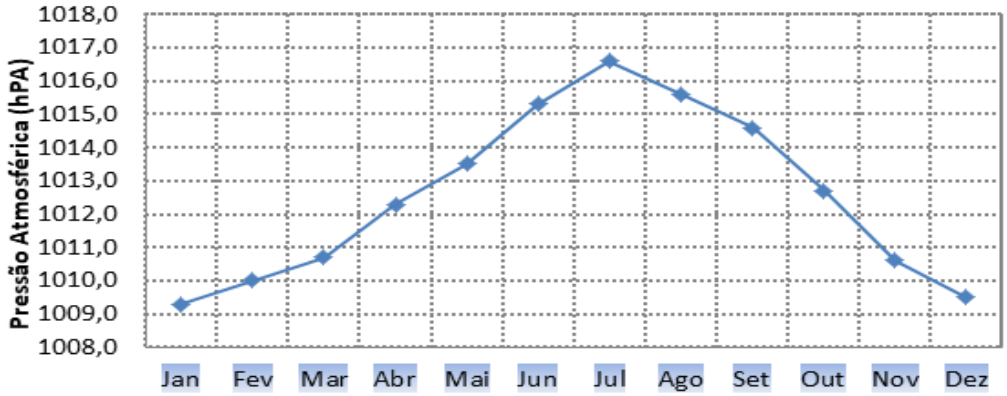


Figura 3.1.b.d: Normal climatológica de pressão atmosférica (hPA) de 1961 a 1990 de Ubatuba.

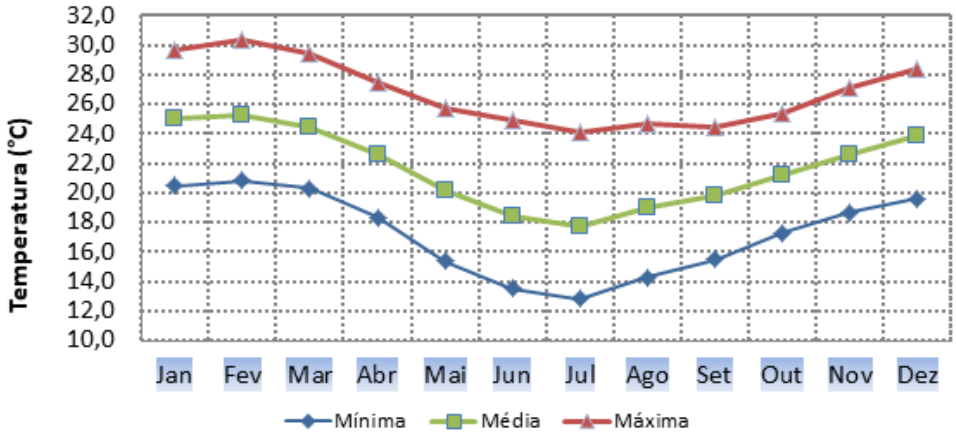


Figura 3.1.b.e: Normal climatológica de temperatura (ºC) de 1961 a 1990 de Ubatuba.

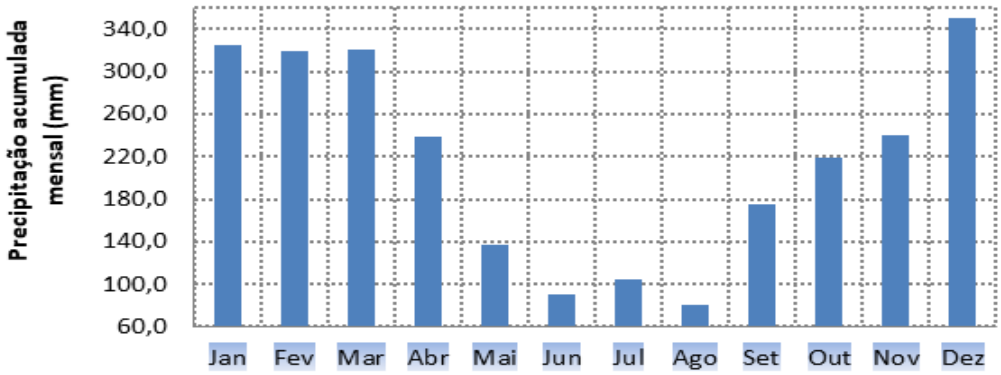


Figura 3.1.b.f: Normal climatológica de precipitação acumulada mensal (mm) de 1961 a 1990 de Ubatuba.

Este padrão meteorológico submete a enseada de Caraguatatuba, na maior parte do ano, à influência de trens de ondas gerados pelos ventos dos centros de alta pressão do Anticiclone Tropical do Atlântico Sul (ATA), pois os trens de ondas gerados pelos ventos dos quadrantes sudoeste a sul, associados à passagens dos sistemas frontais (frentes frias), são parcialmente interceptados pela ilha de São Sebastião.

O clima da região é o subtropical úmido, caracterizados pelas altas temperaturas e elevada pluviosidade no verão, com inverno seco e com temperaturas amenas. A Alta Subtropical do Atlântico Sul atua no sistema de ventos regionais, sendo a zona costeira muito influenciada pelo regime das brisas diotunas, fenômeno gerado pela diferença de aquecimento entre o ambiente aquático e terrestre, que promove movimentos verticais e por consequência, horizontais dos ventos. Os sistemas de Frentes Frias também alteram o padrão climático da região.

Segundo o Estudo de Usos Socioeconômicos das Áreas de Manguezal – Área de Proteção Ambiental Marinha do Litoral Norte (APAMLN) 2016, elaborado pelas empresas Mineral e PETROBRAS, com base nos dados das estações do DAEE, CPTEC/INPE e PETROBRAS/Mineral, Fevereiro é o mês com as maiores médias de temperatura em Caraguatatuba, variando de 25,7º a 27,1º ± 3,0º entre os anos de 2000 a 2015. Julho, o mês que apresentou as menores médias de temperatura, mostrou dados entre 20,2º a 20,4º ± 3,5º para o mesmo intervalo de tempo. Nota-se assim, amplitudes térmicas moderadas. O extremo foi observado em março com 43,5º de máxima e mínima de 7,8º em abril.

Quanto à precipitação, com base nas mesmas estações o estudo apontou que entre 1970 e 2001 janeiro foi o mês com a maior média, chegando a quase 250 mm/mês, enquanto que para o intervalo entre 2011 e 2015 a maior média ficou em março, com valores que superou 320 mm/mês. Já para os índices pluviométricos diários, a maior média ficou com o mês de fevereiro (entre 1970 e 2001), com valor médio de 9,0 mm e máxima diária no período chegando a 410 mm. Para o período compreendido entre os anos de 2011 e 2015, a maior média diária ficou em janeiro, com 11,1 mm/dia. Tal indicador é fortemente regulado pelas passagens das Frentes Frias, bem como pela Zona de Convergência do Atlântico Sul.

As maiores médias de umidade relativa concentram-se entre os meses de novembro a janeiro, superando 85%, com o menor valor verificado em agosto, com 79,4%, indicando grande estabilidade e homogeneidade desse descritor para a região.

Os ventos do Litoral Norte do Estado de São Paulo sofrem grande influência orográfica de pequena escala, apresentando variação dos dados em função da localização das estações. O citado estudo observou o valor máximo absoluto de 18,9 m/s em dezembro, sendo este o mês com as maiores médias de velocidade (4,8 m/s), com as médias das menores velocidades sendo observadas em junho, com 0,7 m/s. Observam-se ventos tanto de Leste como de Oeste, com frequência significativa de Sudeste, muito influenciados pelo processo das brisas marinhas, além das entradas de Frentes Frias.

3.1.c. A Dinâmica Sedimentar na Enseada

A situação geográfica de enseada parcialmente abrigada dos sistemas de ondas de sul, pela Ilha de São Sebastião e pontões do complexo rochoso, implica em um predomínio de correntes de deriva litorânea dirigidas para sudoeste. Este direcionamento se deve não apenas aos sistemas de ondas associados à ATA, como também aos sistemas de ondas dos quadrantes a leste e nordeste da enseada, relacionados ao deslocamento de frentes frias em situação de pós-frontal e frontal sobre o litoral norte paulista.

De acordo com Souza (1990), a enseada encontra-se semi abrigada da incidência direta das ondas provenientes dos quadrantes a sul e sudoeste. Porém, esta mesma área aberta ao oceano recebe a incidência frontal das ondas de leste - nordeste vinculadas a ATA, na maior parte do ano, e ao longo do desenvolvimento de eventos meteorológicos mais intensos, as ondas de leste-nordeste dá maior energia e poder de remobilização sedimentar.

O comportamento destes sistemas de ondas incidentes de sudeste e sul, de leste e nordeste, ao se propagar na enseada de Caraguatatuba induz, respectivamente, a formação de correntes de deriva litorânea, junto à costa, de sentido nordeste e sul – sudoeste. Souza (1990) verificou indícios morfológicos e sedimentológicos que sugerem a atuação de correntes de deriva litorânea de norte para sul na costa de Caraguatatuba e de sul para norte na costa de Massaguaçu.

O estudo realizado por Farinaccio e Tessler (2006), na porção mais a norte da praia de Caraguatatuba, Ponta do Camaroeiro, indica que o processo de reflexão dos sistemas de ondas incidentes dos quadrantes a leste na enseada de Caraguatatuba, em situação de ação frontal é o principal mecanismo de translação dos bancos arenosos submersos no sentido da face praial, associado ao sentido predominante da deriva litorânea (NE – SW).

Este sistema hidrodinâmico é o principal agente de deslocamento dos sedimentos arenosos da plataforma continental rasa para as áreas mais interiores da enseada, e seu transporte predominante de nordeste para sudoeste.

Os molhes construídos para minimizar os efeitos erosivos observados na área mais urbanizada da praia de Caraguatatuba, evidenciam a deposição dos sedimentos na face norte, à montante destes molhes em relação ao sentido preferencial do transporte (SW) e, consequentemente, o deslocamento do processo erosivo para a porção sul, à jusante, por ausência de sedimentos.

Na sua face mais a SW, a enseada de Caraguatatuba, seja pelo efeito de molhe hidráulico exercida pela foz do Rio Juqueriquerê, e também pela perda da competência hidrodinâmica de transporte como efeito da “zona de sombra”, condicionada pelo abrigo da área aos sistemas de ondas mais intensos (SW - S), ocorre uma intensa deposição sedimentar, ocasionando uma área plana, larga e rasa, próximas a 1 metro de profundidade (Figura 3.3-1).

Figura 3.1-1. Recorte da carta náutica da região, com informações de batimetria.

Nesta área é comum a formação de bancos submersos longitudinais à costa e de pontões arenosos associados às desembocaduras fluviais.

Da mesma forma, os sedimentos barrados junto à desembocadura tornam-se prejudiciais à dinâmica natural, uma vez que se portam principalmente em condições de maré baixa, como uma barreira ao livre fluxo do rio em direção ao oceano e à chegada de embarcações pesqueiras e de recreio junto aos atracadouros.

3.1.d. A Evolução Temporal da Foz do Rio Juqueriquerê

A configuração morfológica da foz do rio Juqueriquerê e seus subambientes deposicionais foram descritos em diversas fases temporais. Através da fotointerpretação de imagens aéreas do período compreendido entre 1962 e 1965 Souza (1990) acompanhou a formação de uma barra arenosa emersa, longitudinal, paralela à praia na margem direita da foz do rio. A autora verificou que, em 1962, esta barra arenosa estava disposta paralela à linha de costa, isolada da praia por um estreito canal. No entanto, em foto datada de 1965, a barra arenosa já se encontrava unida a praia em sua porção localizada mais a norte, com evidências de que este processo de junção à praia estava evoluindo de norte para o sul. Esta feição arenosa apresentava crescimento de, aproximadamente, 150 metros em seu comprimento, no sentido para sul.

A evolução desta feição morfológica corrobora com o indicativo do sentido preferencial do transporte de sedimentos arenosos de NE para SW, bem como o papel de molhe hidráulico exercido pelo rio na retenção da carga sedimentar da deriva litorânea.

Na interpretação da fotografia aérea de 1973, Souza (1990) verificou que a barra arenosa não mais se encontrava destacada da praia. Porém, se observava um aumento da largura na margem esquerda do rio de, aproximadamente, 12,5 metros, e mais 25 de largura na margem direita em relação às imagens de 1962.

Já a imagem do sobrevoo executado em 1977 apresentou configuração morfológica completamente distinta da observada entre os anos 1962 e 1973.

Nesta fase a foz do rio Juqueriquerê esteve associada a diversas barras arenosas, com uma distribuição espacial similar a uma feição do tipo delta. Souza (1990) sugere que esta configuração dos bancos arenosos representa uma forte interação entre fortes fluxos fluviais, de períodos chuvosos, com uma dinâmica de transporte litorâneo de norte para sul, bem como também de sul para norte.

Em imagem de satélite obtida em 1987 foi verificado um grande recuo da praia localizada junto à margem direita, em comparação com a praia localizada a margem esquerda do rio, conforme já havia sido indicado por Souza (1990) na fotointerpretação da fotografia de 1977.

No período compreendido entre o final do século XX, e o final da primeira década dos anos 2000, o processo de ocupação e reurbanização da enseada de Caraguatatuba apresentou um forte incremento, principalmente na região mais urbanizada da praia de Caraguatatuba e no seu segmento a sul. A área do antigo manguezal das cercanias do Juqueriquerê foi quase toda urbanizada, e as edificações construídas atingiram a faixa de maré mais alta, ou seja, a faixa de inundação das marés de tempestade.

As margens fluviais, do segmento final do canal do rio Juqueriquerê, foram ocupadas de forma mais esparsa dificultando o fluxo do rio em um canal sem grande possibilidade de expansão lateral. Esta limitação parcial dificulta a vazão fluvial do rio, em períodos de tempestade associados a ciclos de maré sobrelevados (marés meteorológicas) represando volume significativo de água doce/salobra no segmento final do canal fluvial. Na fase seguinte, com condições de tempo bom e marés normais, este fluido contido no canal flui, temporariamente, com grande velocidade e grande capacidade de remobilização sedimentar. Nestas fases, os sedimentos são carreados para maiores profundidades no meio marinho, ao longo de um eixo (canal temporário) aproximadamente perpendicular à foz do rio.

A dinâmica fluvial prevalece em momentos restritos de tempo, na pós-tempestade. Já a dinâmica marinha de transporte sedimentar, no sentido sul, é

dominante ao longo de tempo. Este embate entre as dinâmicas fluvial e marinha responde pela formação de bancos arenosos, corroborando com o observado mais claramente a partir da fotografia aérea de 1977.

Na Figura 3.1-2, de dezembro de 2011, é possível observar essa configuração de bancos arenosos, com disposição paralela a faixa de praia, com ou sem canais, entre os bancos e a praia.

Figura 3.1-2. Imagem Google de e dezembro de 2011.

O papel do rio Juqueriquerê como molhe hidráulico retendo sedimentos transportados pela deriva litorânea proveniente de NW, também é ressaltada pela configuração triangular em sua margem esquerda, possibilitando a extensão do canal fluvial mar adentro.

Imagens posteriores, provavelmente obtidas após ciclos de tempestade, indicam que estes bancos a NE são temporários, sendo periodicamente rompidos e seus sedimentos incorporados aos bancos arenosos a SW.

Esta configuração dos bancos, a NE e SW da foz do rio está claramente apresentada na imagem Google de 14 de maio de 2014, onde os mecanismos de formação dos bancos arenosos e suas inserções na face praial caracterizam-se como um processo contínuo (Figura 3.1-3).

Figura 3.1-3. Imagem Google de abril de 2014.

Ressalta-se a ampliação da figura triangular estabelecida na margem NE do canal fluvial. Esta configuração arenosa mais desenvolvida do que a observada na imagem de 2011, estabelece o eixo de navegação, canal mais profundo de interligação entre o meio fluvial e marinho. Porém, o processo de “baypass”, transferência de sedimentos arenosos das áreas mais a NE para sul, ocorre em áreas mais profundas, aproximadamente no final do canal de navegação naturalmente estabelecido. Dessa forma, esta área de acesso ao canal de navegação apresenta, temporalmente, pequenos bancos arenosos na foz deste canal, dificultando a entrada e saída de embarcações no canal fluvial.

A configuração e a trajetória destes bancos são claramente observadas na imagem Google de 2016, obtida em fase de maré enchente, onde se destaca a linha de arrebentação das ondas (alinhamentos de cor branca) mais distantes da linha de costa atual (Figura 3.1-4).

Figura 3.1-4. Imagem Google de 2016.

A feição sedimentar proeminente da foz do rio Juqueriquerê é resultado não apenas da interação dos fluxos fluvial e marinho, mas, principalmente, da interação destes componentes com uma configuração geomorfológica representativa de uma área costeira abrigada.

As correntes de deriva litorânea associadas aos sistemas de ondas incidentes na enseada apresentam predominância de transporte de sedimentos arenosos muito finos a finos, de NW para SW, principalmente em instantes de interação dos trens de onda de maior energia originários dos quadrantes a Leste.

O fluxo do rio Juqueriquerê exerce papel de um molhe hidráulico para a dinâmica sedimentar litorânea, retendo sedimentos a NE de sua foz e, posteriormente, em fases de predomínio das correntes costeiras sobre a dinâmica fluvial, transferindo parte destes sedimentos para áreas mais distantes da atual linha de costa e, posteriormente, para setores mais a SW desta foz.

A disposição alongada dos bancos costeiros a SW da foz, e o estabelecimento de apenas um eixo (canal de navegação) de interligação rio com o mar, localizado entre os bancos perpendiculares a NE e SW da foz, por onde se deslocam os sedimentos de NE para SW, corresponde a uma feição transitória espaço temporal e de alta periculosidade para a navegação.

3.1.e. Componentes biológicos da região

A região do Litoral Norte do Estado de São Paulo é classificada por Ab'Saber (2003) como "mares de morro" no domínio tropical atlântico. Segundo esta classificação, este região tem grande influência oceânica e orográfica, propiciando grande biodiversidade da fauna e flora.

Os manguezais estão presentes em ambas as margens do Rio Juqueriquerê, principalmente nas proximidades de sua foz, onde há atuação e penetração da cunha salinas marinha, que segundo relatos, avança até as imediações da rodovia.

Tais ambientes são ocupados por uma série de organismos terrestres, marinhos e estuarinos como peixes, crustáceos, moluscos, aves, mamíferos, entre outros, apresentando elevada diversidade biológica e alta sensibilidade à impactos ambientais diversos.

Os manguezais contam também com suas características espécies vegetais tolerantes e adaptadas ao ambiente salobro. As típicas espécies arbóreas encontradas nos manguezais do rio Juqueriquerê são as Avicenia schaueriana (Mangue Preto), Rhizophora mangle (Mangue Vermelho) e Laguncularia racemosa (Mangue Branco).

Diferentes espécies de macro e microalgas também são encontradas nos sedimentos, caules e pneumatóforos de árvores de mangues. Hibiscus também podem ser observados nas bordas dos bosques de mangues da região, além de diversa mata ripária tradicional de restinga, nos trechos médios do rio, sem a influência de águas salobras.

Os manguezais ocorrem em suas margens alagáveis e sujeitas a ação das marés altas, onde a maioria das espécies arbustivas e arbóreas não conseguem sobreviver, algumas espécies desenvolveram adaptações a presença do sal e ganharam a competição por ocupação dessas planícies com sedimentos recentes,

lamosos e planos na foz e margens dos rios, como se pode observar no Juqueriquerê.

Sua importância ecológica e socioeconômica ganhou reconhecimento há anos, tanto por pescadores, caiçaras, pesquisadores, ou mesmo e mais recentemente, pela sociedade geral.

Os manguezais atuam em funções relevantes, como estabilização da linha de costa, regularização e ciclagem do fluxo de matéria orgânica, e é local de abrigo, reprodução e alimentação de várias espécies marinhas e estuarinas, mantenedor de biodiversidade e fornecedor de fonte de alimento para o homem, entre outras. A contenção do sedimento fino transportado pelos rios está entre suas importantes funções estruturantes.

O Rio Juqueriquerê, pela dimensão de sua bacia e da vasta planície que ocupa, a maior do Litoral Norte do Estado, possivelmente já contou com os mais extensos bosques de manguezais do litoral norte antes da franca ocupação da região, cuja área encontra-se com densa ocupação, com poucas áreas vegetadas alteradas, exceto por poucos fragmentos.

Hoje os manguezais estão confinados principalmente nos lados internos dos seus meandros, nas margens não ocupadas no trecho final do seu curso, principalmente em sua margem esquerda.

As reduzidas áreas de planície costeira do Litoral Norte de São Paulo, com sua hidrografia e relevo caracterizados pelos declives da Serra do Mar muito próximos a faixa costeira, não permite a ocorrência de grandes ecossistemas de manguezais como ocorre em alguns trechos do litoral do Sudeste Brasileiro, dando mais importância aos fragmentos remanescentes e bosques observados nas margens do Rio Juqueriquerê.

Campo com gramíneas, macrófitas e vegetação de restinga também são encontradas nas margens do Juqueriquerê. Em seu médio curso, fora da área de influência das águas salinas, várias espécies vegetais aquáticas, arbustivas e arbóreas podem ser observadas em suas margens. Há relatos históricos de expedições na planície costeira do Juqueriquerê, datadas do início do século

passado, mapeando sua vasta área vegetada, com espécies arbóreas de alto porte e em elevada densidade.

Mesmo sendo considerados como áreas de preservação permanente, a ocupação e degradação da mata ciliar por ações antrópicas são históricas e recorrentes. Suas margens, mesmo aquelas não aptas para ocorrência de manguezais, do ponto de vista geomorfológico e topográfico, encontram-se hoje densamente ocupadas pela urbanização, mas também deveriam ter sido preservadas pela importância ecológica das matas ciliares; isso independente de leis ou resolução.

Assim, os fragmentos de mata de restinga do entorno do curso do Juqueriquerê encontram-se sobre forte pressão de ocupação.

Cerca de uma dezena de marinas ocupam as margens do Rio Juqueriquerê, em seu curso final, nos meandros próximos da foz, principalmente em sua margem direita. Há também alguns pequenos píeres e casas particulares, além de ao menos duas rampas de serviços à embarcações.

Grandes áreas de pastagens ocupam seu curso médio de planície, entre a Serra do Mar e a área urbana da cidade de Caraguatatuba, que avança sob pressão ao rio, em ambas as margens.

Em um certo trecho é possível notar uma estreita faixa de mata ciliar ocupando apenas a margem esquerda do rio, todavia, a margem direita no mesmo trecho não apresenta vegetação natural, com ampla área de margens degradadas (Figura 3.1.e.1), onde pastagens avançam até a calha do Juqueriquerê, com trechos de assoreamento arenoso. Trecho com a APP descaracterizada, sem a mata ciliar, também podem ser observados nos rios contribuintes da bacia (Figura 3.1.e.2).

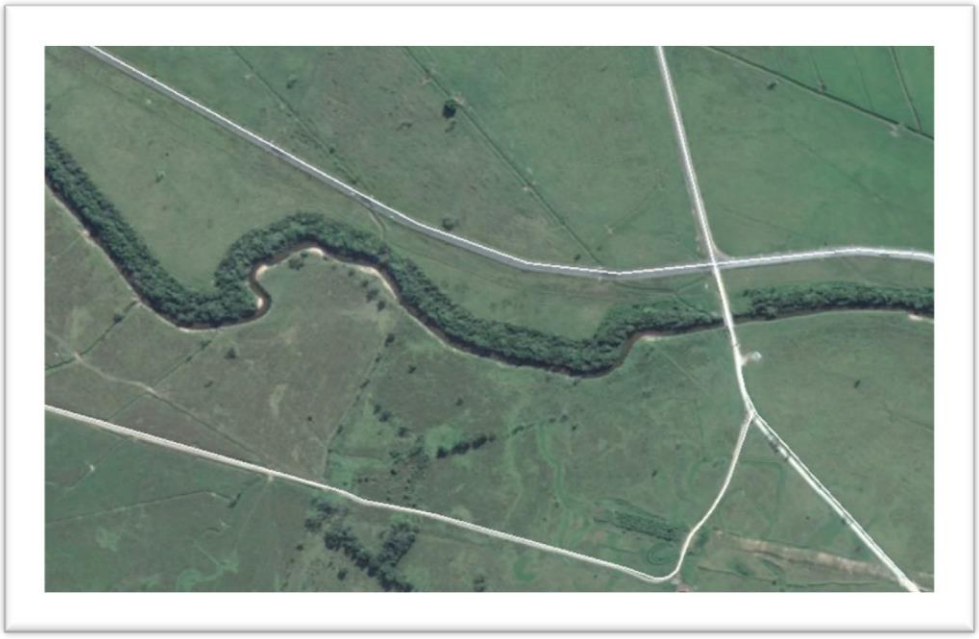


Figura 3.1.e.1: Imagem do trecho médio do Rio Juqueriquerê, onde pode ser observada mata ciliar preservada somente na margem esquerda. (Fonte: Google Earth)

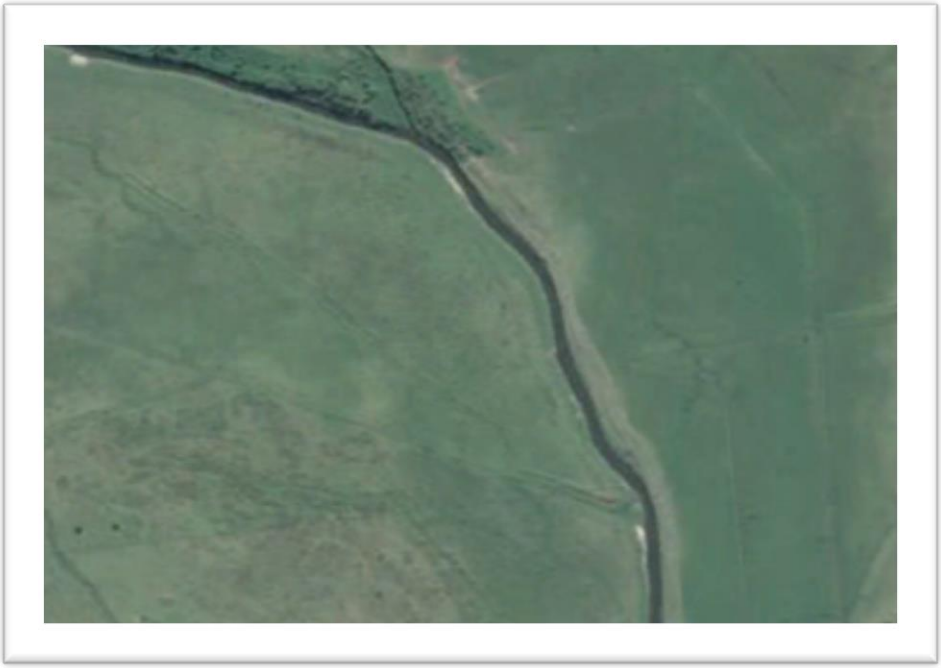


Figura 3.1.e.2: Imagem do trecho médio do Rio Juqueriquerê, sem a mata ciliar da APP em suas margens. (Fonte: Google Earth)

Cicatrizes de drenagens naturais meandrantes também podem ser observadas ao longo da Planície do Rio Juqueriquerê, caracterizando antigos córregos ou mesmo meandros abandonados do Rio, ora inativos pelos inúmeros canais de drenagens, grandes valetas e cursos retilinizados na área (figura 3.1.e.3).

Tais ações de drenagem remontam do período de ocupação comercial da bacia, visto que a região possuía muitas áreas alagadas, incompatíveis com certas atividades exploratórias e agrícolas. Dessa forma, certamente toda a ocorrência e distribuição de espécies animais e vegetais naturais foram sofrendo alterações em decorrência das drenagens realizadas na bacia do Juqueriquerê, onde brejos, alagadiços e várzeas foram aos poucos dando lugar a terras mais secas.

Figura 3.1.e.3: Marcas de antigos meandros às margens do Rio Juqueriquerê. (Fonte: Google Earth)

Nas proximidades da rodovia SP-055 a ocupação urbana exerce forte pressão sobre a mata ripária. Há trechos onde a mesma se encontra parcialmente

preservada; todavia, em outros as construções e arruamento não respeitam sua teórica área de preservação permanente, muito em função da temporalidade das ocupações, mas o fato é que há descaracterização da APP em vários e longos trechos das margens. Entre a rodovia e um grande meandro onde o rio inverte seu sentido, pode ser observado um fragmento de mata de restinga, que associada a outras manchas de vegetação em sua bacia, funciona como corredores de interligação para fauna, no trecho de planície entre a serra e o mar.

O Estudo de Impacto Ambiental-EIA elaborado para o licenciamento ambiental da Unidade de tratamento de Gás de Caraguatatuba, da PETROBRAS (Biodinâmica, 2006) apresenta diversos estudos na Bacia do Juqueriquerê. Nele é indicado que a vegetação original na área de planície da Bacia do Juqueriquerê está inserida no Bioma Mata Atlântica, caracterizada pela Floresta Ombrófila Densa de terras baixas (até 50 m de altitude), em diferentes estádios de regeneração da vegetação secundária, além dos já citados manguezais.

A Bacia do Juqueriquerê também se insere na Floresta Ombrófila Densa de Submontanha (50 m a 500 m) e Montanha (500 m a 1500 m). Ela se caracteriza por cobertura vegetal densa, com folhas perenes, trepadeira, epífitas e diferentes estratos.

Tais tipos vegetacionais, como citado no EIA, ocorre em fragmentos, principalmente em serras e morros isolados, nas áreas de planíce. As áreas mais densas e com grande biodiversidade ocorrem nos fundos de vales e matas de encostas das áreas escarpadas da serra. Dezenas de espécies arbóreas podem ser encontradas.

Não ocorre uma unidade fisionômica diferente que se possa caracterizar como Mata Ciliar, sendo esta Floresta Ombrófila Densa ou Mata Secundária. São encontrados na área diversos trechos em estádio médio ou inicial de regeneração, muitos campos antrópicos caracterizados por pastagens e fragmentos de matas de restingas, já sofrendo influência marinha.

A vegetação de restinga encontrada na grande planície de maré cortada pelo Rio Juqueriquerê é associada ao solo mais arenoso, com influência de depósitos marinhos, rica em diversidade.

Todavia, são mesmos os diferentes estádios de regeneração da vegetação nativa que ocupa grandes extensões locais, com vegetação secundária pioneira, inicial, médio ou avançado; cada um com suas características, desde campos abertos com grupos herbáceos, passando por arbustivos, até as espécies arbóreas pioneiras ou uma fisionomia de mata fechada, com diferentes estratos.

O extrativismo vegetal não legalizado é recorrente e constitui problemas para a Mata Atlântica, em Unidades de Conservação ou não. Tal fato ainda ocorre em áreas densamente vegetadas como as escarpas ou alto da Serra do Mar, todavia como a planície do Juqueriquerê já se encontra significativamente alterada, não são frequentes os cortes de árvores para diferentes fins, como obtenção de lenha, palmito ou madeira para moradias.

Relatos do início do extrativismo de madeira da região datam de cerca de 100 atrás, iniciado para a confecção de dormentes para implantação de linhas ferroviárias no Brasil e Europa.

A fauna da região da Bacia do Rio Juqueriquerê não foi abundantemente estudada. O Bioma da Mata Atlântica contempla mais de 270 espécies de mamíferos (Biodinâmica, 2006), muitos presentes no Parque Estadual da Serra do Mar, como nos topos e nas vertentes onde nasce o Rio Juqueriquerê, a Leste de sua planície costeira.

O levantamento realizado para o Licenciamento do UTGCA registrou 73 espécies de mamíferos na região, incluindo os trechos de serra. Na região ocorrem principalmente animais de pequeno porte (mas não exclusivamente), podendo ser observados morcegos, roedores, carnívoros, marsupiais, tatus, preguiça, tamanduá, primatas, veado e anta, em ordem decrescente de riqueza de espécies. Tais espécies apresentam diferentes hábitos alimentares (frugívoros, insetívoros, carnívoros, entre outros), com diferentes meios de ocupação e locomoção (arborícolas, terrestres, semi-aquáticos, entre outros).

Quanto aos mamíferos de pequeno porte, destacam-se os morcegos, gambás e ratos, enquanto que podem ser observados também os de médio porte, como macacos, tatu, tamanduá, gatos do mato, como também os mamíferos de

grande porte, como veado, porcos-do-mato, anta ou mesmo onças, nas partes altas da Serra do Mar.

No que se refere aos mamíferos com estreita utilização dos corpos d'água, Rio Juqueriquerê e suas matas ciliares, podem ser encontradas lontras, capivara e outros.

Muitas espécies de mamíferos observados na região podem ser considerados endêmicos da Mata Atlântica ou ameaçados de extinção, como alguns macacos, roedores, ou carnívoros.

Para o grupo das aves, a Mata Atlântica apresenta elevada riqueza. São mais de 700 espécies, com significativo grau de endemismo - quase 30 %. O estudo realizado para o licenciamento ambiental do UTGCA registrou 184 espécies na área de influência indireta do empreendimento, além de outras 218 espécies citadas em dados secundários. Dessas, 128 são endêmicas e várias são indicadoras de qualidade ambiental, ameaçadas ou alvos de captura (Biodinâmica, 2006).

Podem ser destacados espécies como o macuco (Tinamus solitarius), tucano-de-bico-verde (Ramphastos dicolorus), arapaçu-de-bico-torto (Campylorhamphus falcularius), inhambuguaçu (Crypturellus obsoletus), pé-vermelho (Amazonetta brasiliensis), papagaio-verdadeiro (Amazona aestiva), araponga (Procnias nudicollis), pavó (Pyroderus scutatus), coleirinho (Sporophila caerulescens), trinca-ferroverdadeiro (Saltator similis), pintassilgo (Carduelis magellanica), bico-de-lacre (Estrilda astrild), além de vários gaviões, pica-paus, tiês, saíras, periquitos e inúmeras outras aves (Biodinâmica, 2006).

As aves utilizam tanto as áreas da encosta da Serra com matas mais densas, fragmentos de vegetação secundária, campos de pastagens e áreas alagadas na região.

Poucos foram os estudos de répteis e anfíbios na Bacia do Juqueriquerê. Certamente o grupo é representado tanto por espécies das matas densas da Serra do Mar, como também das planícies antropizadas do Juqueriquerê. Rãs, sapos, pererecas, cobras e lagartos apresentam ocorrência ampla e certamente podem ser registrados em toda a bacia, com grande diversidade e riqueza. A Cobra

Caninana (Spilotes pullatus), por exemplo, com ampla distribuição, é uma espécie frequente nesse tipo de ambiente, todavia a lista de ocorrência contempla dezenas de outras cobras, lagartixas e lagartos. É provável também que ocorram na área espécies ameaçadas, como cágados, jabuti e algumas serpentes também ameaçadas, venenosas ou não. Foram observadas espécies como urutu, coral, jararaca, jararacuçu e outras (Biodinâmica, 2006).

Dezenas de espécies de anfíbios de ampla distribuição ocupam as áreas de brejos, cachoeiras e córregos com leitos pedregosos, tanto da Mata Atlântica como dos campos abertos das pastagens da planície costeira. Várias espécies podem ser observadas na região do Juqueriquerê, quer seja por observação direta ou pela vocalização dos indivíduos.

No que se refere às comunidades aquáticas do Fitoplâncton, zooplâncton e bentos, da Bacia do Rio Juqueriquerê pode apresentar zonas significativamente distintas, caracterizadas basicamente pela geografia de cada trecho em questão. Águas de corredeiras e pequenos poços em leitos de pedras da região de sopé da serra destinguem dos trechos meandrantes e de menor energia da planície, com leitos arenosos, bem como também se diferem da porção mais próxima da foz do rio, com sedimentos lamosos e forte influência das águas marinhas.

A comunidade fitoplanctônica, principalmente, de ambientes como o Juqueriquerê, responde diretamente aos nutrientes oriundos da matéria orgânica lançamento de esgotos, temperatura da água, penetração de luz e variação do teor de salinidade de suas águas. Chlorophyceae, Euglemophyceae e Bacillariophyceae, são representantes típicos de ambientes desse tipo de ambiente. Da mesma forma, o zooplâncton, que exerce a função de consumidor primário, atuando como importante elo da cadeia trófica, é normalmente representado por rotíferos. Copépodes são organismos comuns na águas costeiras e podem ter ocorrência abundante na foz do rio. Fases larvais de caranguejos, peixes e outros organismos marinhos também são representantes comuns do plânctos.

Já os organismos bentônicos são caracterizados por aqueles intimamente relacionados ao substrato do fundo e margens, sejam eles rochas, sedimentos,

cascos de embarcações ou estruturas como pilares de pontes. Eles também exercem importante papel ecológico e respondem à qualidade do ambiente, podendo ser empregados como organismos bioindicadores. Certamente há significativa diferença de organismos ao longo do curso do Rio Juquiriquerê, com espécies típicas de ambientes de encostas e calhas rochosas da serra como as fases larvais de insetos, bem diferentes das espécies do baixo Juquiriquerê, com influência de águas salinas, onde devem ser observadas ostras, cracas, moluscos macroalgas e inúmeras outras espécies de crustáceos ou poliquetas. Todavia, carecem de maiores estudos na região.

A fauna de peixes dos rios da Mata Atlântica é caracterizada pela elevada riqueza em espécies com alto grau de endemismo, e pela íntima associação com a floresta, que garante a ela proteção e alimentação (Sabino & Castro, 1990; Menezes, 1996). De acordo com Abilhoa et al. (2011) seus rios e riachos possuem uma diversidade estimada em 269 espécies de peixes, distribuídas em 89 gêneros e 21 famílias. São comuns os lambaris, carás, jacundás, traíras, cascudos e bagres.

Com a supressão da floresta a cerca de 7%, a ictiofauna foi reduzida a uma pequena fração do que já existiu (Menezes, 1996), sendo pouco conhecida (Sazima et al., 1994; Buckup, 1996; Menezes, 1996; Sabino, 1996), e existindo ainda muitas regiões pouco ou ainda não exploradas, que podem abrigar espécies raras ou até novas para a ciência. Para resolver esse problema da falta de conhecimento sobre a composição ictiofaunística dos rios e riachos da Mata Atlântica é necessário um grande esforço de coleta, catalogação e identificação.

O Rio Juquiriquerê é o maior rio do Litoral Norte, entretanto, sua ictiofauna é pouco conhecida. Segundo relatos de pescadores, robalos sobem o rio com a entrada da maré pela sua foz, assim como bagres, paratis e outros peixes marinhos com hábitos estuarinos. Bagres, mandís, carpas, carás e tilápias também podem ser observados no rio, alguns destes exóticos, introduzidos no Rio Juquiriquerê após escape de tanques de criadores.

Em 2013, foi relatada mortandade de peixes no Rio Juquiriquerê. Dentre as espécies havia robalos, bagres e tainhas. Em junho de 2016, foi relatada outra

mortandade no mesmo Rio de um grande número de peixes no bairro Algodão de Caraguatatuba. De acordo com a prefeitura os peixes mortos eram de apenas uma espécie de bagre.

Pela falta de conhecimento sobre a ictiofauna e também pelo fato do Rio estar em uma região de relevante interesse biogeográfico, suas águas se constituem em um importante local para o desenvolvimento de estudos mais aprofundados. Segundo Sazima et al. (1994) estudos seguidos de medidas de preservação eficientes são necessários para se evitar a perda de espécies de peixes dos rios e córregos da Mata Atlântica. A criação de unidades de conservação que englobem os rios e riachos da Mata Atlântica (e suas nascentes) é a única maneira de evitar o desaparecimento dos peixes da Mata Atlântica. Este foi o alerta dado pelo professor Naércio Aquino de Menezes recentemente no Museu de Zoologia da USP (MZUSP).

A conservação do rio Juqueriquerê e de seus riachos afluentes, bem como a recuperação da mata de seu entorno, garantirá a manutenção da fauna de peixes já existente e, a longo prazo, pode permitir que a comunidade se recomponha.

3.1.f. Qualidade das águas e sedimentos

A qualidade das águas das águas do Rio Juqueriquerê pode ser avaliada segundo o monitoramento realizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, a qual estima o Índice de Qualidade de Água-IQA (CETESB, 2015). Somente o Alumínio dissolvido apresentou 25% de resultados em não conformidade com os padrões de qualidade, enquanto que outros 8 metais apresentaram concentrações abaixo dos padrões de referência. Quanto ao IQA, calculado com base entre alguns indicadores, as águas do Juqueriquerê foram classificadas como Boa, segunda melhor posição em um ranqueamento de 5 estágios que vai de ótima a péssima.

Em 2011 Cetesb também realizou uma coleta para avaliação da qualidade dos sedimentos do Juqueriquerê (CETESB, 2012), tendo encontrados bom resultados quando comparadas as concentrações observadas na amostra com os padrões de referência ambiental de qualidade, para efeitos ecotoxicológicos.

Nenhum Hidrocarboneto ou pesticida foi quantificado, assim, como os metais que também apresentaram baixas concentrações.

A granulometria deste ponto de coleta foi classificada como areia siltosa, o que pode ter contribuído para a não acumulação de contaminantes por precipitação e adsorção, independente da existência de fontes ou da qualidade de suas águas.

Uma caracterização físico-química atual e mais completa dos sedimentos do baixo Juqueriquerê foi realizada no presente estudo e está apresentada no capítulo 3.5.

3.1.g. Alguns Registros Históricos da Região

O município de Caraguatatuba apresenta interessantes e peculiares características socioeconômicas e de ocupação, quer seja pela geografia, que por muito tempo dificultou o acesso por terra e impossibilita a instalação de um grande porto no município, ao passo que por outro lado, e ao mesmo tempo, moldou uma vasta planície costeira motivadora de uma pujante indústria agrícola e da extração de madeira, com um movimento histórico de migração de povos europeus para as terras do “Juquery-querê”, e os consequentes atrativos de geração de emprego que essa indústria proporcionou entre os anos de 1920 a 1960.

Por mais uma vez na história de Caraguatatuba, a geografia ainda mostraria toda a sua força ao alterar os rumos da ocupação nesta planície costeira. Um trágico episódio de chuvas descomunais, deslizamentos de terra em grande escala, enchentes e soterramentos vieram acontecer em 1967, marcando o que hoje é conhecido como a Catástrofe de Caraguatatuba, evento que vitimou centenas de moradores e deu novos destinos às terras e aos trabalhadores locais.

Essa história, por si só, renderia outra obra, apesar de já narrada em dezenas de publicações. Por apresentar componentes de naturezas diversas, como sociais, econômicas, ambientais, históricas, culturais, entre outras, fiquemos aqui somente com alguns pontos relacionados ao Rio Juqueriquerê, que de alguma forma, influenciou suas margens, calha e sua navegabilidade.

Um agradecimento deve ser pontuado, de início, à equipe sempre prestativa e atenciosa do Arquivo Municipal Arino Sant'Ana de Barros, cujo acervo da memória de Caraguatatuba foi inúmeras vezes consultados para a obtenção das informações que seguem.

Uma belíssima publicação de 1919 intitulada Exploração do Rio Juqueryquerê traz as narrativas de uma equipe da Commissão Geographica e Geologia do Estado de São Paulo ao explorar as áreas da bacia do Rio Juqueriquerê, em expedição iniciada nos primeiros anos do século 20 (Figura 3.1.a).

Os técnicos da Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo, em um trabalho de reconhecimento do local descreveram que a região do "Juquery-querê" era uma enorme baixada coberta por mata bastante alta e densa, com elevada umidade, que caracteriza a sua paisagem. Muito poucos clarões eram percebidos na mata. Florestas e alagados compunham e dominavam a paisagem da região. A equipe cita ter encontrado no início da subida da serra, um jequitibá com mais de 6 metros de circunferência.

A própria publicação cita os reflexos da impossibilidade de um porto e dificuldade do transbordo de cargas entre os navios à vapor e as canoas, como entraves ao desenvolvimento da região, impondo, até então, economia retraída e lavoura de pequena escala (citada a presença de "canna de assucar"). Galdino (2004) aponta a ausência de um porto como principal fator para a ocupação tardia de Caraguatatuba.

A publicação descreve o solo, sua geologia, espécies vegetais e a fauna.

Traz ainda mapeamentos, coordenadas, descrição dos corpos d'agua, inclusive a vazão do Rio Juqueriquerê. A descida do Rio Juqueriquerê, desde suas corredeiras até o mar levou 5 dias, tendo navegado por 20,6 km medidos com bússola e luneta.

Figura 3.1.a: Imagem da capa do livro que primeiro descreve as características naturais da planície do Rio Juqueriquerê. (fonte: Arquivo Municipal)

Em trecho acima da confluência com o Rio Claro, é citado que:

> "*Quando a agua é pouca, ha logares onde com dificuldade fluctuam as canoas carregadas, sendo ás vezes preciso arrastal-as"*

O engenheiro da Equipe, Cornelio Schimidt, mostrou seu encanto com a região ao descrever, em 1910, a vista da Enseada de Caraguatatuba:

> "...*de cujo alto* (do Morro do Dom*) se descortina, rumo de Norte, a paizagem mais bella de todo o littoral paulista*."

Outras cotações interessantes da calha do rio podem ser observadas:

Desde a foz do rio Claro começa a quarta zona, o «rio Grande», como dizem, mas aliás Juquery-querê. O volume é agora de 20 metros cubicos por segundo, a profundidade até 4 metros e a largura de 25 a 40 metros, ainda com áreas grandes cobertas por tabua, logo num, logo no outro lado do rio, augmentando a largura do leito. A correnteza é fraquissima, quasi inapreciavel; pelo que o rio com seus estirões compridos, até 500 metros entre curvas fortes, e suas aguas pretas, antes toma o aspecto de uma serie de lagôas. De manhã cedo, quando não ha vento, é então a superficie lisa como um espelho, onde mira-se a vegetação marginal, tornando muito bonita a navegação.

Da juncção do rio Claro para baixo toma o Juquery-querê direcção quasi nordeste em kilometro e meio de extensão, aproximando-se tanto da praia que esta fica apenas 700 metros distante. Mas retoma a direcção sul, correndo paralellamente ao mar em mais 3 kilometros para então com outra volta a léste sahir no mar. A largura é, no logar da balsa, de 50 metros, pouco acima da barra, que é raza e tapada por um banco de areia.

Tem-se ainda o interessante trecho:

Neste curso inferior do rio é grande a tiragem de lenha com destino a São Sebastião. Fazem-se esteiras de tabua em quantidade para serem vendidas nas cidades vizinhas, e tambem a pesca rende alguma cousa. As tainhas sobem até a fóz do rio Claro, e tambem até lá faz-se sentir a maré, estando a agua ligeiramente salgada.

A publicação descreve também as características ligadas à navegação que o rio oferece:

Quanto á navegabilidade do rio, pode a barra ser transposta por vogas, que de facto entram e carregam generos com destino a Santos. Até um pequeno rebocador á vapor uma vez transpoz a barra, e, uma vez dentro, podem taes embarcações subir até a fóz do rio Claro ou mesmo um pouco acima. Isto permitte a profundidade e a ausencia de quaesquer obstaculos como tranqueiras, voltas apressadas, etc.

Desobstruido o rio dalli para cima, será navegavel para canôas até a *gambôa* da Vargem Grande, porque sempre ha canal de 80 centimetros de profundidade. Para cima da Vargem Grande é o canal entretanto apenas de 40 centimetros e tão irregular que ás vezes é precizo arrastar as canôas quando as aguas são baixas. É desempedido este ultimo trecho, que vai até as corredeiras. Seria ainda assim de uns 10 kilometros o trecho do rio que seria necessario desobstruir para tornal-o francamente navegavel para canôas grandes, o que acarretaria grande dispendio, visto a quantidade de obstaculos á remover com foice e machado.

Quanto aos aspectos socioeconômicos pode-se encontrar:

Pouco acima da barra, onde a estrada de São Sebastião á Caraguatatuba atravessa o rio, ha uma balsa que dá passagem e junto a esta varios negocios, onde nos domingos reune-se muito povo. Ha então muitas canôas em movimento na parte povoada do rio, e defronte das casas situadas nos barrancos estacionam nestes dias grupos de homens, mulheres e creanças, dando vida e colorido á paisagem.

Há também de se notar a descrição da formação da rede hidrográfica do Rio Juqueriquerê, conforme informações e nomenclaturas de então:

> *Assim pode-se dizer que o Juqueryquerê é formado pelo Camburú e pelo rio Claro e o Camburú origina-se da reunião do rio Verde com o rio Pardo.*

O mapa que segue traz a curiosa geografia da região ainda sem a Ilha Morena, mostrando apenas o grande meandro do Rio Juqueriquerê, ainda fechado, não a caracterizando como ilha (Figura 3.1.b). O canal foi aberto para facilitar o acesso das canoas que subiam, sem terem que fazer o grande contorno do meandro. Provavelmente foi aberto nos anos 50.

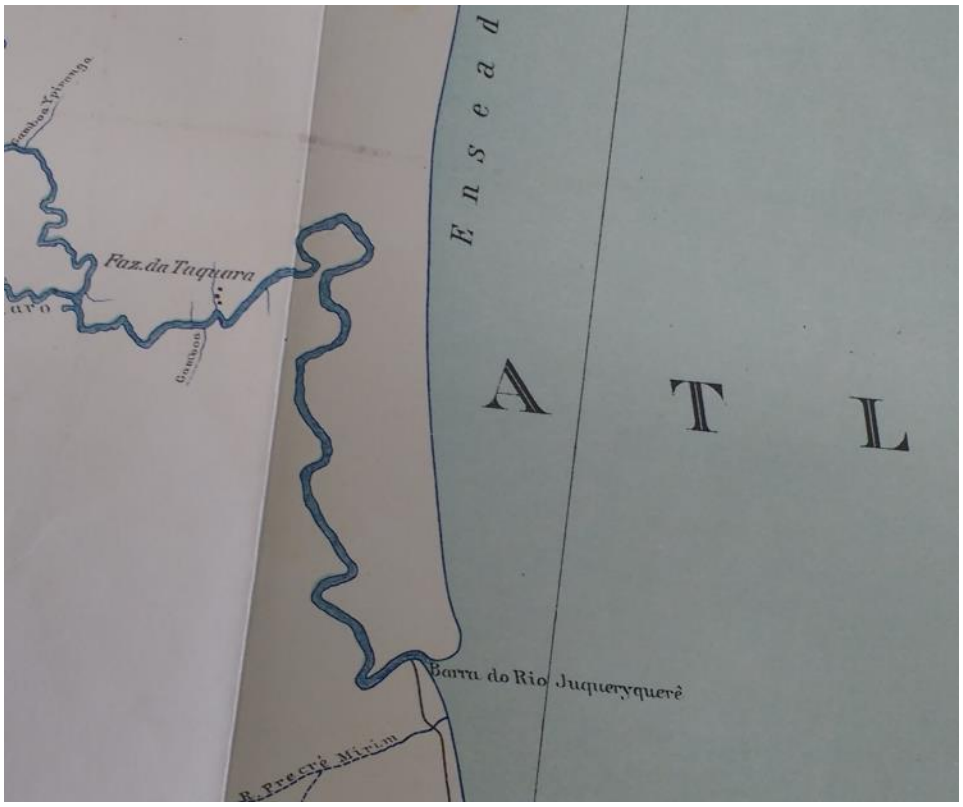


Figura 3.1.b: Mapa de 1919, anexo da publicação Exploração do Rio Juqueryquerê, mostrando o grande meando do rio que mais tarde veio a ser aberto, tornando-se a Ilha Morena.

Kok, 2012, em sua obra de referência sobre a região - Uma Fazenda Inglesa no Universo Caiçara - cita a história de ocupação e atividades socioeconômicas da bacia do Juqueriquerê, com interessante riqueza de detalhes, sendo várias de seus trechos as fontes do parágrafos que seguem.

Nos primeiros anos do século 20, Caraguatatuba estava com aproximadamente 3 mil habitantes, que viviam, em parte, da pesca, de alguma agricultura para consumo e comercialização local e um comercio não muito forte, visto suas limitações de acesso.

Mas sua geografia já mostrava um potencial diferenciado na região, onde uma imensa planície costeira, diferente de outras áreas do litoral norte, começou a ser percebido por europeus em busca de oportunidades comerciais.

Hoje muito se fala sobre a Fazenda dos Ingleses, um marco agroindustrial de Caraguatatuba, porém, pouco se dá conta que a região parecia estar mesmo fadada a ser ocupada por europeus, visto a exploração das terras por italianos e franceses, antes mesmo dos ingleses.

Um empreendedor Ítalo-brasileiro da época, apoiado por um banco italiano, foram os primeiros a atuar economicamente em escala significativa na região que hoje conhecemos como a Bacia do rio Juqueriquerê, comprando 4 mil alqueires de terra, com trechos da serra ao mar. Tal investimento visou a exploração de madeira, principalmente para atender o mercado da expansão da malha ferroviária que demandava grandes quantidades de dormentes.

Independente da temporalidade dessa exploração de madeira, dos conhecimentos naturais da época, das fartas áreas de matas densas na época, das necessidades de infraestrutura que se vivia e da legislação ambiental (ou da ausência dessa), é fato que este foi um marco inicial das alterações, e por que não dizer, dos problemas ambientais hoje vividos no Juqueriquerê, visto o massivo desmatamento produzido na área.

Associada diretamente a essa questão, outra significativa alteração das características naturais da planície ocorreu pelas “limpezas e retificações” realizadas nas margens dos rios que compõe a bacia do Juqueriquerê, para facilitar

o embarque e transporte da carga, já que o transporte por terra, em carros de boi, era difícil em decorrência dos muitos “alagados” na área. Assim, há relatos de grandes “limpezas” realizadas nas margens das margens dos rios, com retiradas das matas ciliares, árvores e galhadas, visto que os empreendedores da época investiram em navegabilidade e iniciaram o transporte sobre trilhos. A mesma publicação relata que para escoamento da madeira bruta e dormentes processados da região, foi implantada uma ferrovia com 6 km.

A empresa de Madeira J. Charvolin tinha uma lancha que podia transportar até 30 funciorários vindo de Santos, subindo o Juqueriquerê até o rio Claro. Também dispunham de chatas para transportar os dormentes, tendo chegado a operar com chatas de até 20 ton.

Segundo Garrido (1988) a lancha Climene, vinha de Santos e subia fácil o Juqueriquerê, com os passageiros até o rio Claro, onde transferia cargas e o pessoal para embarcações menores e chatas, continuando a ascensão. O autor cita que: “Ali, numa vasta planície à margem Direita do Camburu existiam os acampamentos das turmas entregues ao abate das árvores....” Houve grande movimentação de terra no sopé da Serraria, as margens do Rio Anhimbu, para as instalações gerais e implantação da ferrovia.

O autor ainda cita que o Rio Juqueriquerê serpenteava por várzeas recebendo inúmeros afluentes, inundando grandes áreas, o que as tornava impróprias para as culturas. Foi então que se desenvolveu um sistema de drenagem com longas e profundas valas interligando os alagadiços aos rios principais (Figura 3.1. c). Tem então os primeiros registros de Plano de Drenagem da região.

Até então, aquelas terras eram conhecidas como a Fazenda São Sebastião.

Figura 3.1.c: Valas de drenagem abertas na bacia do Juqueriquerê para permitir as lavouras. (fonte: Arquivo Municipal)

Já em 1918, as terras foram compradas por um banco francês, juntamente com toda a estrutura instalada pelos italianos, como casas, trilhos, espaços de processamento e luz elétrica.

Inicialmente os franceses tinham a intenção de empreender também na exploração de madeiras, todavia, logo desistiram, pois não havia mais reservas madeira de leis em quantidades lucrativas. Diante desse cenário, resolveram plantar cana-de-açúcar, mandioca, fabricar aguardente e instalar uma nova usina na região. Mas o banco foi à falência...

Em seguida, a exploração da área mais uma vez troca de mãos, europeias, com a chegada dos ingleses para a produção de frutas e exportação à Inglaterra.

A história da Fazenda dos Ingleses chega mesmo a se confundir com a de Caraguatatuba, e apesar do amplo conhecimento dos cidadãos caraguatatubenses sobre tais fatos históricos, vale um resgate de algumas características do empreendimento, principalmente aquelas com reflexos no Rio Juqueriquerê nos dias atuais.

Portanto, a empresa inglesa Lancashire General Investiment Company arrendou a então Companhia Brasileira de Frutas e passou a atuar na região da planície de Caraguatatuba, as margens do Juqueriquerê e seus contribuintes. A própria Companhia Brasileira de Frutas também atuou na retificação dos rios, limpando o leito do Juqueriquerê e tornando-o navegável às embarcações de carga.

O empreendimento britânico em Caraguatatuba popularmente conhecido como Fazenda dos Ingleses, teve início quando no final dos anos de 1920, um grupo inglês comprou os 4 mil alqueires de terra na bacia hidrográfica do Rio Juqueriquerê, instalando uma grande estrutura para a produção de frutas para abastecimento do mercado inglês.

Seus investimentos foram focados na produção de bananas e cítricos, principalmente o grapefruit. A produção ocorreu em quantidade e qualidade. Os relatos da época informavam a lotação de ao menos um navio por mês para a Inglaterra, partindo do Porto de Santos.

A primeira safra de laranjas ocorreu em 1931. A partir de então, viagens frequentes para inspeções da produção e escoamento das frutas começaram a ocorrer.

A infraestrutura da época fazia inveja à própria Caraguatatuba, com seu porto, malha ferroviária, áreas de lazer com cinema e campo de futebol, além de habitações para os funcionários. A estrutura da fazenda dos ingleses era assim superior a de Caraguatatuba, quem tinha um número de funcionários equivalente a sua população. Vale o registro que não havia muita integração entre ambos. No auge da produção estimam-se em até 6.000 mil moradores na fazenda, entre funcionários e familiares. Trabalhadores de todo o país migravam à Caraguatatuba, interessados nos relatos de emprego, refletindo diretamente no aumento populacional da cidade, um polo de atração para a época.

Às margens do rio Juqueriquerê encontrava uma grande infraestrutura, incluindo um complexo arquitetônico com casas residenciais, alojamentos, escritório administrativo, armazéns, galpões, maquinários, destilaria de cachaça e a própria área de embarque portuário (Galdino, 2004). O autor constatou significativo

potencial arqueológico das instalações, podendo fortalecer a história e cultura de Caraguatatuba, possibilitando restauros e turismo (Figura 3.1.d).

Figura 3.1.d: Fotografia atual do cais, construções e ruinas do galpão de embarque das frutas no Porto da Fazenda dos ingleses.

Há relatos de epidemia de malária, bem como o perigo aos trabalhadores pela grande quantidade de cobras, jararacas e jararacuçus na área. Apesar de encontrada a citação de cascavél, essa espécie de serpente não apresenta ocorrência natural no litoral norte. A fonte bibliográfica pode ter se enganado ao reproduzir tal informação, já que o livro fonte cita que elas praticamente não ocorriam (Garrido, 1988).

Para garantir a produção, mudas de laranjas de quatro variedades foram trazidas dos EUA (4 tipos), além do fornecimento do interior do estado de São Paulo. A propriedade chegou a ter 500.000 pés de laranja e 3.000.000 bananeiras (Paes, 1998). Anteriormente aos fertilizantes já preparados trazidos à fazenda,

relatos dão conta da que cinzas de café vinham de Santos para serem utilizadas como fertilizante.

Mas não era fácil manter a produção e a qualidade das frutas, Há relatos que muitas pragas chegaram a assolar a produção de frutas, devido a umidade e chuvas constantes na área. Um vírus provocava a doença do mosaico, sendo exterminados mediante queimadas com óleo diesel e cal nas covas. O uso de fungicidas e inseticidas nos cítricos também era prática para controle de várias pragas.

Houve até uma pioneira pulverização por avião biplano adaptado nos bananais nos anos 50, na busca do controle e extermínio do Mal de Sigatoka, doença que queimava as folhas das bananeiras. Não se tem registros dos produtos específicos ou dos tratos culturais empregados, mas a contaminação de solos e águas pode ter sido uma realidade na ocasião, visto o poder biocida dos agrotóxicos utilizados no passado, associados ao seu elevado grau de persistência no ambiente, tendo o uso de muitos sido banidos por acordos mundiais nas últimas décadas. Enfim, mas essa é outra história.

Toda a produção era inicialmente escoada por trilhos, onde uma malha ferroviária própria com cerca de 120 km levava as frutas em vagões até a região do “portinho”, na margem direita do Rio Juqueriquerê, nas proximidades da atual ponte rodoviária sobre o rio (Figura 3.1.e). Lá as bananas e laranjas eram selecionadas, embaladas e embarcadas em chatões que as levariam até o porto de Santos.

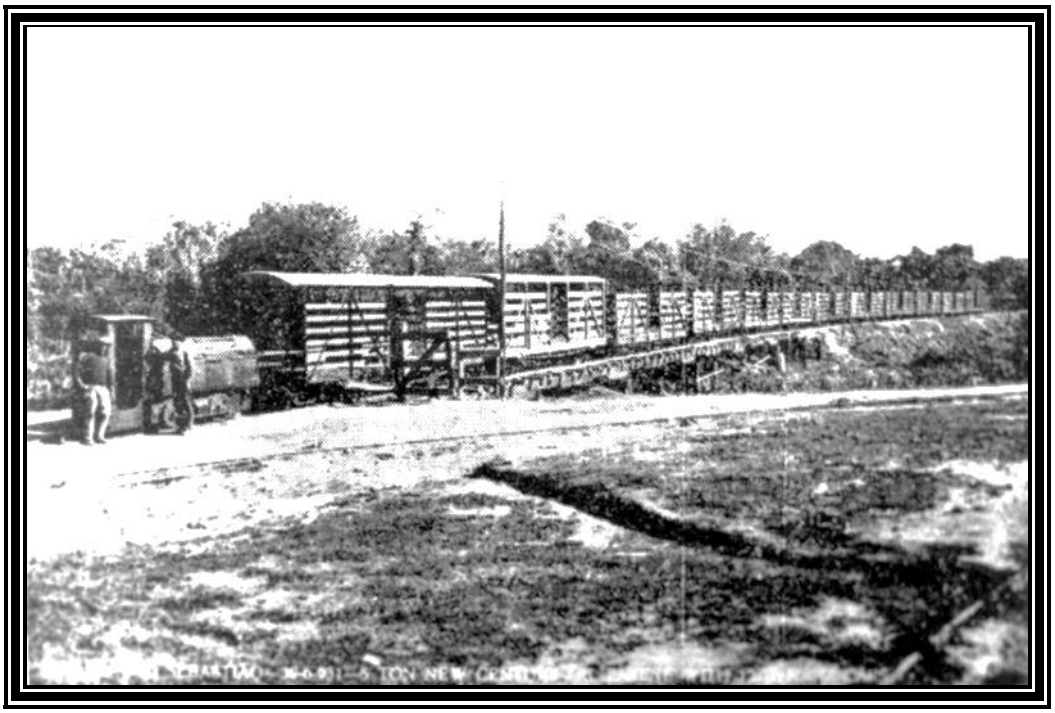


Figura 3.1.e: Composição ferroviária com os vagões transportando bananas das áreas de plantio até o porto. (fonte: Arquivo Municipal)

Lá, os navios da empresa Blue Star Line, com porão refrigerado, acondicionavam as frutas que deveriam seguir em bom estado de conservação até a Inglaterra. Cada laranja “aprovada” era carimbada com a marca Tropigold (Figura 3.1.f) partindo para Santos e posteriormente para Londres, para abastecer, segundo relatos, inclusive a Casa Real.

As laranjas que não passavam no controle de qualidade eram por vezes descartadas nas aguas do próprio rio Juqueriquerê. Bananas com mínimas imperfeições também não eram enviadas à Santos.

Figura 3.1.f: Tropigold, marca comercial da laranja produzida em Caraguatatuba, com desenho do carimbo que caracterizava cada fruta exportada. (Fonte: Kok, 2012)

Para suporte às operações, entre os inúmeros departamentos da fazenda, além daqueles destinado à produção e administração, estavam o Departamento Marítimo e de Transporte.

A estrutura construída dispunha de um cais com cerca de 100 metros de comprimento às margens do Juqueriquerê (o porto novo, que passou dar nova referência ao bairro do Juqueriquerê) (Figura 3.1.g). Uma curiosidade: O porto foi projetado pela equipe da própria fazenda e construído pelo empreiteiro Basílio Graviloff, quem mais tarde trabalhou na construção do Estádio do Pacaembu (Garrido 1988).

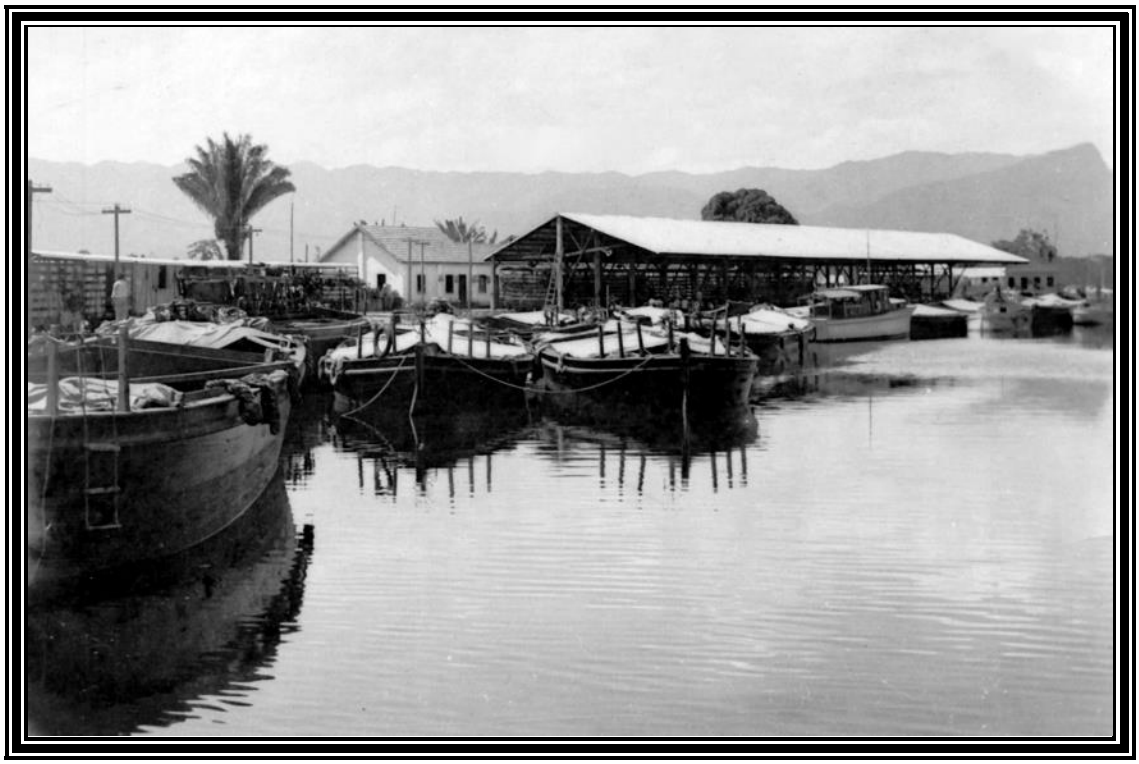


Figura 3.1.g: Bela imagem das estruturas do porto da Fazenda dos Ingleses, à margem direita do Rio Juqueriquerê. (fonte: Arquivo Municipal)

A frota chegou a operar com mais de 10 rebocadores e 33 chatões (figura 3.1.h), em composições normalmente operadas por um rebocador e dois chatões, mas que ocasionalmente chegava a 3.

O maior dos rebocadores, o Valencia, que também podia levar passageiros, possuía calado de 1,6 metros (valioso registro passado pelo seu Contra-Mestre, o Sr. Manuel Pimenta), ligeiramente superior à média das maiores embarcações de pesca ou passeio que utilizam o Juqueriquerê nos dias de hoje, (Figura 3.1.i). Dois outros rebocadores possuíam calados no entorno de 1,3 m. Os demais, fabricados especialmente para a operação no porto do Juqueriquerê, já possuíam calado menor, próximos de 1,0 m, da mesma forma que os chatões (carregados).

Há relatos bibliográficos de que a lancha da fazenda penetrava à foz do Rio Juqueriquerê somente em maré alta.

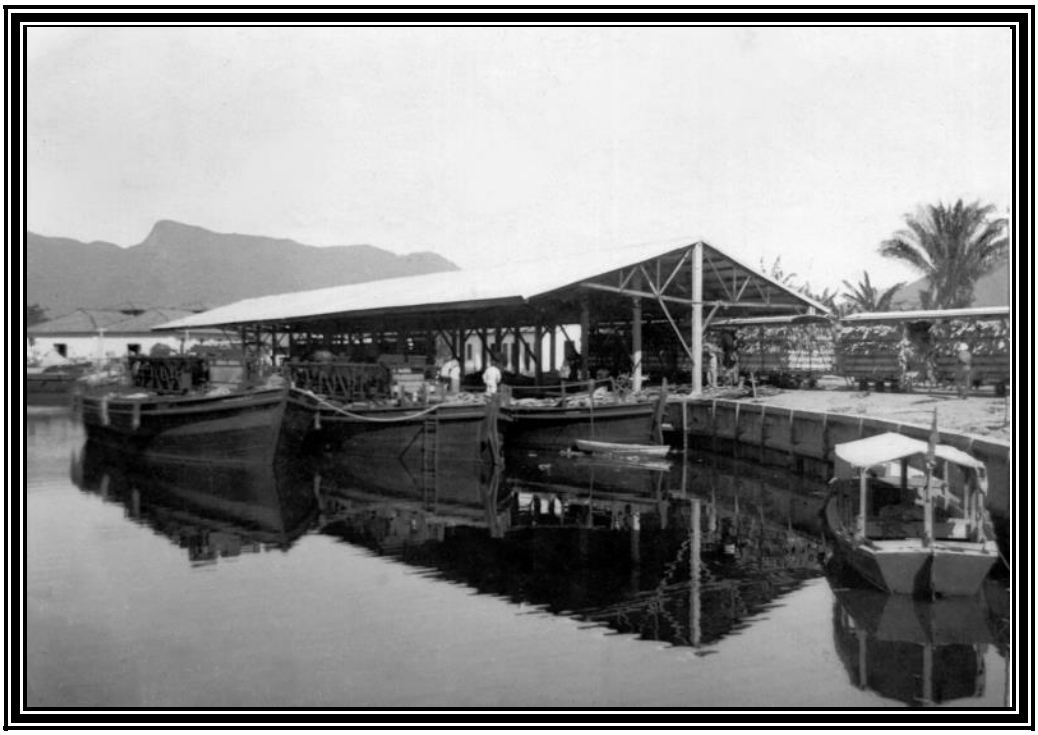


Figura 3.1.h: Chatões, com cerca de 1,0m de calado sendo carregados com banana e laranja no porto da Fazenda dos ingleses, no Rio Juqueriquerê. (fonte: Arquivo Municipal)

Figura 3.1.i: Fotografia do elegante Rebocador Valencia, que mesmo com seu calado de 1,6 m, entrava na barra do Rio Juqueriquerê nos momentos em que a maré não estava baixa. (fonte: Arquivo Municipal)

Foi intensa produção e exportação na fazenda dos ingleses desde os anos 30 até a catástrofe de 1967, quando os danos na lavoura foram devastadores a ponto de inviabilizar investimentos para sua recuperação, face ao momento econômico já vivido.

Alguns percalços se sucederam neste caminho, como por exemplo, a segunda Guerra Mundial entre 1940 e 1945, quando as exportações apresentaram queda brutal. Os navios da frota do grupo, a Blue Star Line chegaram a ser torpedeados no Atlântico Norte durante a segunda guerra, interrompendo a exportação das frutas. Na época da guerra a fazenda se viu obrigada a partir para diversificação das atividades para superar as dificuldades, começando, entre outras coisas, a extrair óleo da casca das laranjas, utilizado na indústria bélica.

Os citados problemas com pragas nas lavouras, que implicavam em baixa produção e redução da qualidade das frutas, contribuiram também como fator relevante de dificuldade do negócio. Lembramos que a qualidade das frutas foi um diferencial da produção da empresa.

A bibliografia cita diversificação também dos cultivos pelos europeus na região, sendo introduzindo arroz, juta, menta, cravo, abacaxi, goiaba, seringueira e até criação de carpas.

Houve retomada da produção e exportação após o final da guerra, porém não nos níveis anteriores, visto o enfraquecimento do mercado europeu.

Os ventos noroeste, com suas incríveis rajadas também era um problema, pois derrubavam milhares de bananeiras em eventos mais intensos.

A catástrofe de 1967, por sua vez, não atingiu somente o centro de Caraguatatuba, levando caos na forma de troncos, lama e pedras pelo Rio Santo Antônio, atingindo também a região do Juqueriquerê, com relatos de muitos moradores mortos. Há citações de estragos na ordem de 50% da fazenda, onde os bananais e os trilhos foram cobertos com até 2 metros de lama e detritos.

Tais fatos, somados e em sinergia, iniciaram a desativação da fazenda, visto os custos para sua recuperação em um momento econômico já de declínio.

A fazenda então foi adquirida pelo grupo empresarial Serveng, da família Penido, que atuava no ramo de infraestrutura e construções, implantando ali uma nova atividade. Agora a região seria ocupada pela pecuária. A então Fazenda Serramar passou a ser grande produtora de leite tipo B e grande empregadora do município. A diversificação de atividades na área continua até os dias atuais, passando desde a produção agropecuária, com bubalinos e gado de corte, exploração de areia para construção civil, construção de um shopping center, ampliação dos bairros residenciais e a criação da unidade de Tratamento Gás e Condensado de Caraguatatuba, da PETROBRAS, processadora do gás natural produzido no campo de Mexilhão.

Em depoimento dado ao documentário elaborado pelo Acervo Municipal, sobre a comunidade do Porto Novo, o pescador Roberto Lima, o Titi, informou que nas reuniões e oficinas participativas realizadas, a comunidade indicou como ação prioritária o aprofundamento da barra do rio Juqueriquerê, assim como a “limpeza” e desassoreamento geral do rio, que se encontra “fechando” pelos bancos de areia, estreitamentos das bordas e invasão do capim. Capim, aliás, que por relatos de diversos moradores é tido como um problema constante nas margens do rio, que já foi mais largo nos tempos sem sua ocorrência (Figura 3.1.j). Trata-se do Capim Jaraguá, uma gramínea exótica da espécie *Hyparrhenia rufa*, uma forrageira muito cultivada no Brasil para alimentação do gado.

Figura 3.1.j: Margens ocupadas por capim em vários trechos do rio.

Relatos de antigos moradores dão conta de profundidades superiores 4 m, citando também larguras entre 30 e 40, com águas muito claras, com visibilidade do fundo, onde entravam, entre outros, tainha e mero. Um rio muito farto segundo os caiçaras. O Rio Juqueriquerê era lugar de atenção, respeito e sustento. Eles iam pegar um peixinho, tomar um banho, buscar água...

Mas apesar dos grandes fragmentos remanescentes de vegetação de restinga e manguezais na barra, a mata ciliar do Juqueriquerê já se mostrava alterada, ao menos, desde a década de 60, com ocupação, início da urbanização e de loteamentos na área (Figura 3.1.k).

Figura 3.1.k: Imagem aérea de 1962, mostrando o início da ocupação na região do baixo Juqueriquerê.

Foram então surgindo atracadouros nas margens, como os conhecidos pelos caiçaras, Porto do Benício, Cais do Inácio, e muitos outros... (Paes, 1998).

A tainha era um peixe esperado, sendo também o mais citado pelos “ribeirinhos”, inclusive, muito associada à festa de São Pedro, em junho. São

relatados, segundo a Autora, muitos outros pescados no rio, mesmo alguns que não são mais encontrados: Lagosta, pitu, robalo, tainha, bagre, carapeba, piaba, cará, caranha, traira, mandi, tilápia, linguado, cangauá, cascudo, lambarí, chincharro, carapicú são lembrados pelos relatos dos pescadores. Até boto entrava no rio atrás de tainha... Pegavam-se muitos berbigões em sua barra, muito pescado entre as décadas de 40 e 70, quando começou a diminuir, como é citado. Os pescadores citam inclusive relação com vazamento de petróleo, mas sem a comprovação nesse levantamento bibliográfico, da relação de causa e efeito. A dissertação cita também que os pescadores notaram significativo aumento de berbigões desde 1997. Há alguns artigos bibliográficos produzidos sobre a ocorrência e abundância desse bivalve na região.

Algumas técnicas de pesca são citadas pelos antigos pescadores e moradores do bairro, como puçá, tarrafa, armadilhas e a pesca de fisga, posteriormente proibida pois machucava muita tainha em tentativas de lanços sem sucesso.

Paes (1998) e relatos atuais de pescadores, citam que a maré é sempre observada para possibilitar navegar pela barra, condicionada à maré alta.

Notou-se assim, que a vocação à navegação já se caracterizava há muito, não só pelo escoamento de madeira e frutas, como também pelos muitos “fazedores” de Canoa na região, como o popular Sr. Vicente Moraes, do Bairro do Porto Novo, às margens do Juqueriquerê.

A Região teve seu tempo da extração de madeira, produção de Banana, laranja e até produção de aguardente em grande escala, com relatos indicando cerca de um milhão de litros ano da destilaria do Porto Novo, transportadas em dornas de madeira por canoas até São Sebastião, e de lá o Porto de Santos para distribuição ampla.

A bibliografia consultada relata as preparações das terras, com o trabalho duro de desmatamento e drenagem, tudo isso encarado com bravura e louvor.

Muitos cursos d’água cortavam a região. Os maiores ficaram, apesar de seus cursos regularizados. Muitos córregos secaram ou foram aterrados Muitos também eram os brejos, alagadiços, e cachetais; muitos drenados por valas

profundas escavadas na melhor das intenções de tornar a área agriculturável. A densa vegetação da Mata Atlântica relatada na planície guarda testemunhas, mas somente no alto da Serra do Mar, das lembranças dos tempos de matas fechadas na restinga. Há relatos também de aplainamento dos cumes dos morros para construções de casas.

A planície passou também por intervenções históricas significativas, como o desmatamento das matas ripárias, retilinização dos corpos d'água e implantação de inúmeras valas de drenagem, além das mais recentes, como assentamentos residências nas margens e lançamento de esgotos.

Buscando maiores entendimentos das demandas atuais da região, vale resgatar o Diagnóstico Rápido Participativo (DRP) realizado nas comunidades de pesca artesanal diretamente afetadas na fase de instalação do duto do Projeto Mexilhão, da PETROBRAS. Uma das comunidades onde foi realizado o diagnóstico foi a do Porto Novo, no âmbito do Programa de Ação Participativa para a Pesca Artesanal – PAPP, item este constante no plano de compensação do licenciamento ambiental do Sistema de Produção e Escoamento de Gás e Condensado no Campo de Mexilhão, na Bacia de Santos.

O DRP realizado trabalhou com 67 pessoas, das quais, 33% eram mulheres. Neste grupo, havia pescadores em sua maioria, além de representantes de peixaria e box de comercialização de pescadores, educadores, profissionais ligados à carpintaria de barcos, e jovens da comunidade. Há alguns anos que se mentem o número de 15 famílias com cerca de 24 pescadores diretos no bairro, incluindo Caiçaras, as famílias vindas de Santa Catarina, ou mesmo os que se iniciaram na pesca após a perda de seus empregos na Fazenda dos Ingleses.

Este diagnóstico cita que parte da renda dos atuais moradores da região vem da atividade turística, pesqueira e náutica (PETROBRAS, 2009). As canoas deram lugar aos barcos de pesca, o turismo náutico também chegou (marinas para lanchas de passeio ou pesca esportiva) e os empregos ligados ao turismo cresceu. Mas estima-se haver cerca de 600 pescadores registrados na Colônia de Pescadores de Caraguatatuba (Z-08) em todo o município, havendo outros tantos não registrados, a despeito da legitimidade desses registros. No Porto Novo,

grande parte dos pescadores está envolvida com o arrasto para captura do camarão sete barbas. Todavia, não foi possível que as demandas diagnosticadas na comunidade fossem atendidas no âmbito do PAPP.

Muitos dos pescadores locais estão envolvidos não somente com a pesca, mas tem o turismo como fonte complementar de renda. A produção pesqueira percebida pelos pescadores de Caraguatatuba indica uma queda significativa, confirmada pelos dados de levantamentos realizados pelo Instituto de Pesca de São Paulo, onde o auge da produção pesqueira pode ser notada na década de 80 (PETROBRAS, 2009). Uma caracterização socioeconômica dos pescadores da região pode ser encontrada no site do Instituto de Pesca do estado de São Paulo.

A relação entre pescador, produção pesqueira, turismo, quiosques e restaurantes é marcada e característica, principalmente nos períodos de temporada e festas na cidade, como festa da Tainha, do Camarão, do Marisco e do Caiçara. O envolvimento da cadeia produtiva familiar torna-se evidente e se mostra relevantes na região do Juqueriquerê, além de outras atividades relacionadas ao rio, como as inúmeras marinas de embarcação de recreação e turismo náutico, oficinas de reparos e peças de embarcações, pousadas, restaurantes, as dezenas de colônias de férias e todos os serviços associados indiretamente.

O Juqueriquerê deve despertar para os novos horizontes, aqueles ligados ao empodeiramento de seu povo, ao pertencimento local, dos recursos e dos atrativos turísticos esquecidos do rio e às novas oportunidades de geração de renda e participação comunitária nos rumos das políticas públicas locais. Esse projeto caminha nesse sentido.

Em relação ao setor de navegação/pesqueiro, os estaleiros locais que prestam serviços de mecânica, carpintaria, pintura e outros serviços para embarcações citam a escassez de mão de obra especializada na região. A capacitação em serviços náuticos é demanda já diagnosticada na região e pode fazer parte do rol de produtos entregues à comunidade para apoio à geração de renda. Hoje barcos de municípios vizinhos vêm ao Juqueriquerê para a realização de serviços, incluindo barcos de pesca, escunas e lanchas, apresentando grande potencial gerador de renda. A construção de barcos novos também é atividade

rentável local. Um único estaleiro local informou no DRP já ter 25 funcionários (PETROBRAS, 2009).

Alguns projetos foram identificados naquele diagnóstico. A construção de um enrocamento para estabilização das margens do Juqueriquerê, dando segurança à navegação, foi de longe o mais solicitado pela população. Dar continuidade aos anseios e projetos demandados pela comunidade local identificados naquele diagnóstico realizado, tendo agora a possibilidade de executar ações que não foram postas em prática à época é política direta de atendimento à comunidade pesqueira e moradores do Juqueriquerê.

3.2. Parâmetros Geodésicos Empregados nos Levantamentos

Os levantamentos topobatimétricos, incluindo a obtenção dos perfis de praia e batimetria do rio e mar, foram estabelecidos segundo os parâmetros de projeção, datum vertical e horizontal abaixo descritos:

Os parâmetros geodésicos utilizados nos levantamentos realizados em campo estão definidos na Tabela 3.2-1:

Tabela 3.2-1 - Parâmetros geodésicos horizontais

DATUM	
Datum	SIRGAS 2000
Elipsóide	GRS 1980
Raio equatorial do elipsóide	6 378 137.000 m
Achatamento	1/298.257223563
Excentricidade do elipsóide	298.257 223 563
PROJEÇÃO	
Projeção	Universal Transverse Mercator
Zona	23 S
Latitude de origem da projeção	0º
Longitude de origem da projeção	45º W
Falso Leste	500.000,00 m
Falso Norte	1.000.000,00 m
Fator de Escala	0,9996

As coordenadas verticais dos dados levantados foram obtidas através de um receptor GNSS (Global Navigation Satellite System) fabricado pela GEOMAX, modelo Zenith35, a partir do rastreio de três pontos de interesse: um próximo à foz do Rio Juqueriquerê (O17130_RN3), um ao norte (O17130_RN2) e outro ao sul (O17130_RN1) (figura 3.2-1).

Após a aquisição, os dados foram submetidos a pós-processamento pelo método de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), para obtenção de suas coordenadas planimétricas e altimétricas, corrigidas através do modelo geoidal MAPGEO 2015, do IBGE.

A apresentação dos resultados finais dos levantamentos topobatimétricos será reduzida para o Nível de Redução (NR) de sondagem da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil.

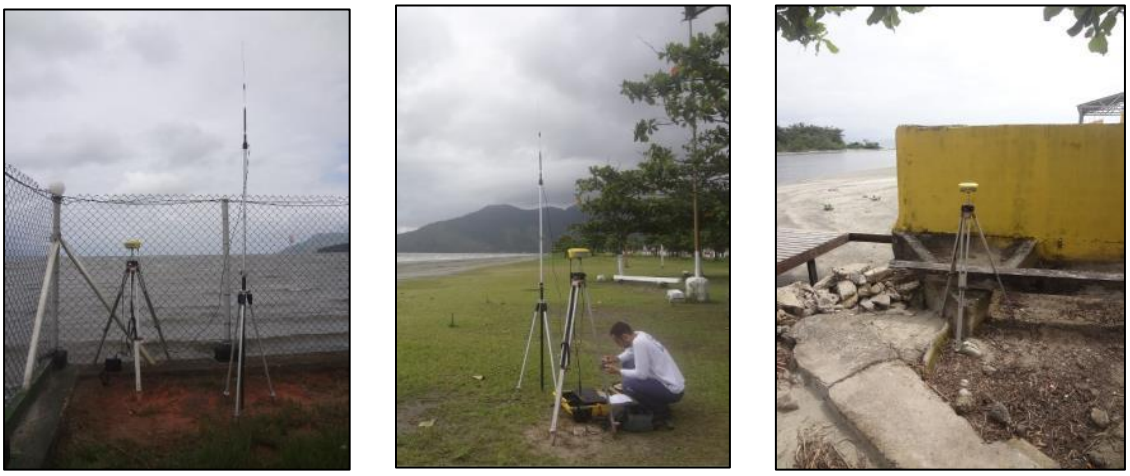


Figura 3.2-1 – Rastreio das coordenadas dos pontos de interesse ao sul (O17130_RN1), a norte (O17130_RN2) e próximo à foz do Rio Juqueriquerê (O17130_RN3), respectivamente.

Já os dados da variação da maré durante os levantamentos foram extraídos pela leitura de uma régua maregráfica instalada no píer de acesso à Marina da Barra, cujo nivelamento foi feito com a utilização de um nível ótico, a partir da coordenada vertical ortométrica do RN3 (figura 3.2-2).

Figura 3.2-2 – Régua maregráfica instalada e nível ótico posicionado sobre o RN3

3.3. Perfil de Praia

O monitoramento de um sistema praial fornece informações para se determinar a dinâmica das praias, os fatores relevantes nos processos de ganhos e perdas de volume de sedimentos ao longo da costa, tendências de curto período e taxas de mobilidade da linha de costa, além de ser de grande importância, pois podem ser utilizados como suporte à engenharia costeira, na qual auxiliariam na determinação de áreas de risco.

Neste estudo foram obtidas as cotas e distâncias em 18 perfis no entorno da Foz do Rio Juqueriquerê com o objetivo de servir como dado de entrada no modelo de transporte de sedimentos na avaliação final dos resultados, bem como servir como um parâmetro de monitoramento após realização das obras.

O levantamento de perfil de praia cobriu as duas margens da barra do rio, compreendendo 9 seções a cada lado, na área da atual desembocadura, cobrindo uma extensão aproximada de 4 km de costa.

Os perfis topográficos foram realizados através de receptor GNSS, utilizando o método Real Time Kinematics (RTK), com a antena base tendo sido instalada sobre marcos implantados, conforme descrito no item anterior.

A partir de suas coordenadas, a antena base envia, via rádio UHF, em tempo real, um sinal de correção do erro do GPS para a antena móvel trabalhando em campo, fornecendo acurácia de cerca de 10 mm na horizontal e 15 mm na vertical, aproximadamente (Figura 3.3-1).

As coletas das coordenadas horizontais e cotas topográficas ao longo da praia foram tomadas através da antena móvel conduzida pelo técnico responsável até uma profundidade que não comprometesse sua integridade e a do equipamento (Figura 3.3-2).

Figura 3.3-1: Localização dos marcos implantados.

Figura 3.3-2: Levantamento topográfico do perfil praial com a antena móvel.

Para entendimento da configuração espacial (morfologia) das faces emersas da praia a NE e SW da foz do rio Juqueriquerê, os resultados dos perfis praiais foram interpretados separadamente, em dois conjuntos designados como perfís a sul e a norte.

O primeiro conjunto corresponde aos perfis P.1 a P.9, localizados a sul da foz do rio, e o segundo conjunto englobando os perfis entre P.10 e P.18, são localizados a norte desta mesma feição geomorfológica.

Os resultados das análises de laboratório dos sedimentos coletados nos perfis praiais (análises texturais), também foram interpretados em conjuntos similares aos adotados para as análises das configurações morfológicas dos perfis.

A seguir, são apresentados os gráficos dos perfis praiais medidos, reduzidos ao nível altimétrico de referência do IBGE. Ressalta-se que a análise e discussão integrada destes dados será feita em um relatório conclusivo futuro.

1.3.1 Perfis Sul (P.1 a P.9)

A localização dos perfis a sul da foz do rio pode ser vista na figura 3.3.1. As figuras 3.3.1-1 à Figura 3.3.1-9 apresentam a declividade de cada um dos 9 perfis medidos, sendo o número 1 aquele mais o sul, junto ao final da praia, enquanto o perfil 9 está mais próximo da foz do rio. Eles apresentam um comportamento similar em relação a declividade e distancia horizontal da face exposta da praia, que corresponde a distância horizontal entre o marco implantado (berma) e o ponto de mudança acentuada de declividade, caracterizando assim a zona emersa.

Com os marcos de referência destes perfis implantados na porção superior da face praial, na transição entre a praia (berma), e a planície à retaguarda, a cota topográfica (reduzida à DHN) relativa a estes pontos oscila entre 2,5 (no perfil 1) e 1,7 (perfil 9) metros de altitude.

Figura 3.3.1: Mapa de localização dos perfis 1 a 9, a Sul da foz do Rio Juqueriquê.

O limite oposto do perfil levantado (em direção ao mar), corresponde a uma posição topográfica individualizada para cada perfil, na medida em que por motivo de segurança dos equipamentos cada perfilagem finalizou sua extensão nas profundidades inferiores a 1 metro.

As distâncias, ou medições horizontais oscilaram entre um valor mínimo de 20 m até o máximo de 45 metros. Importante ressaltar que estes valores deverão sofrer pequenos ajustes, quando os dados topográficos, obtidos com referencial a um marco IBGE, forem reduzidos aos referenciais utilizados nos levantamentos batimétricos das áreas submersas.

As medições horizontais correspondem às distâncias entre o ponto de implantação dos marcos iniciais de cada perfil, até a posição de mudança brusca

de inclinação que corresponde aproximadamente à face emersa da praia. Observa-se que a cota de 0 m é atingida às distâncias horizontais de 20 (P.9) e 30 m (P.1), sendo estes os extremos da porção sul da área de estudo. As distâncias são reduzidas em direção à porção central da praia, como observado no P.5, em que a zona emersa é observada à uma distância de aproximadamente 110 m.

Desta forma, as declividades médias (V/H – tangente) correspondem a baixos valores oscilando entre 0,03 e 0,07. Estes valores indicam uma face praial de pequena declividade, tendendo a um plano horizontal.

Os perfis P.8 (Figura 3.3.1-8) e P.9 (Figura 3.3.1-9) localizados nas proximidades da foz do rio, apresentaram distâncias horizontais da face praial emersa de mais de 200 metros. Desta forma, a declividade destes perfis é ainda mais suave do que os perfis locados mais a sul, indicando ser este setor a sul composto de relevos planos, de declividade suave e pequena extensão horizontal.

Quando se observa as imagens de satélite deste segmento evidencia-se uma configuração geomorfológica peculiar. Junto à foz do rio, na região dos perfis P.8 (Figura 3.3.1-8) e P.9 (Figura 3.3.1-9) existe a formação de um grande banco arenoso gerado pela interação da dinâmica de transporte praial em confronto com os ciclos de enchente e vazante do fluxo fluvial. A estabilidade dinâmica desta figura geomorfológica, apenas submersa em fases de maré mais elevadas, tem como implicação o assoreamento de uma larga área marinha junto à desembocadura, persistente no tempo.

No segmento mais a sul, embora submetida a aporte contínuo de sedimentos, não apresenta alargamento da distância horizontal da face praial, na medida em que esta alimentação ocorre nas fases de “soldagem” dos bancos submersos, que migram a sul, na linha de costa.

Como entre a face praial e estes bancos encontram-se calhas, mais rasas ou mais profundas, observa-se um plano submerso bastante assoreado entrecortado por calhas e cristas dos bancos migratórios.

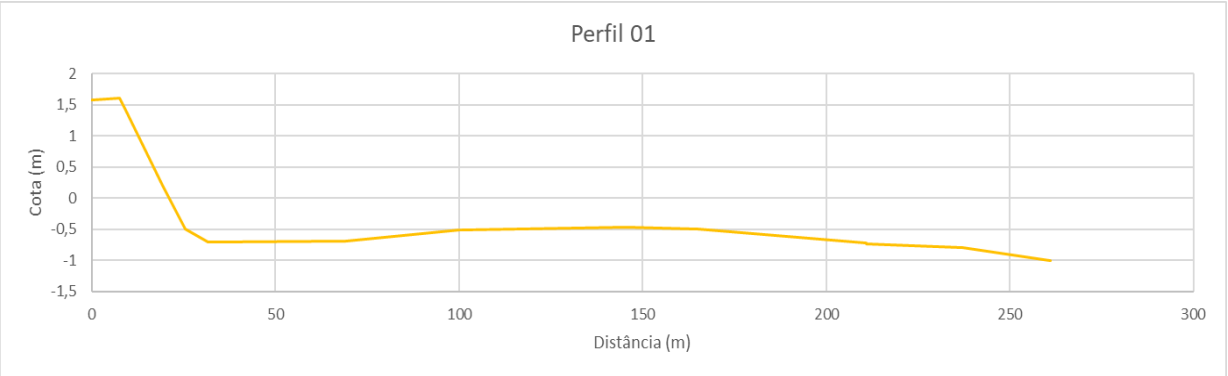


Figura 3.3.1-1: Gráfico dos dados medidos no Perfil 1.

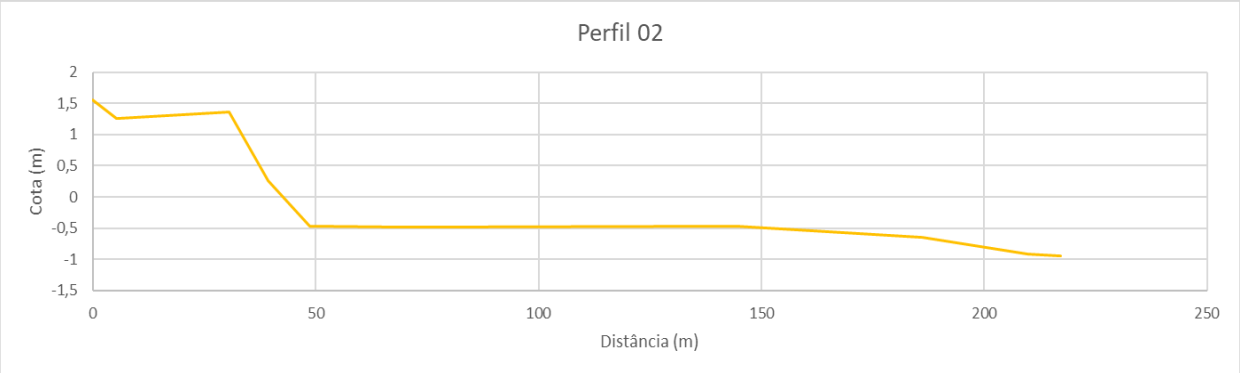


Figura 3.3.1-2: Gráfico dos dados medidos no Perfil 2.

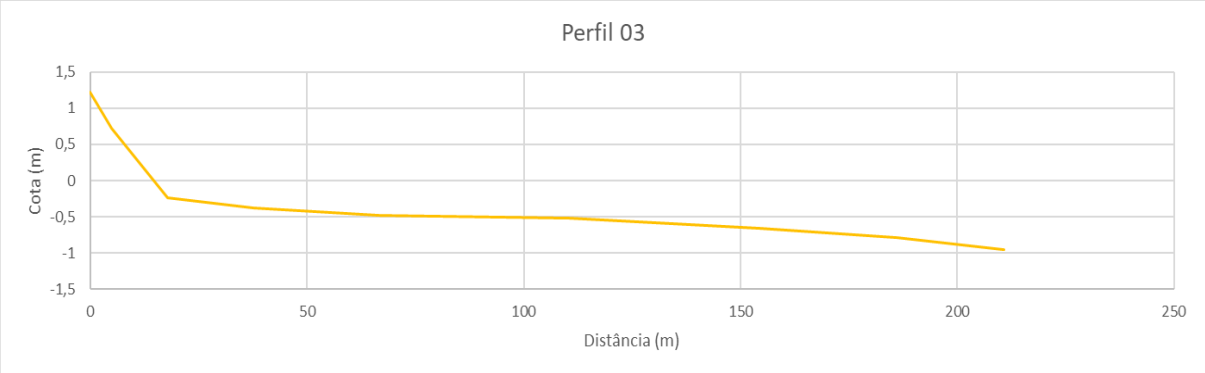


Figura 3.3.1-3: Gráfico dos dados medidos no Perfil 3.

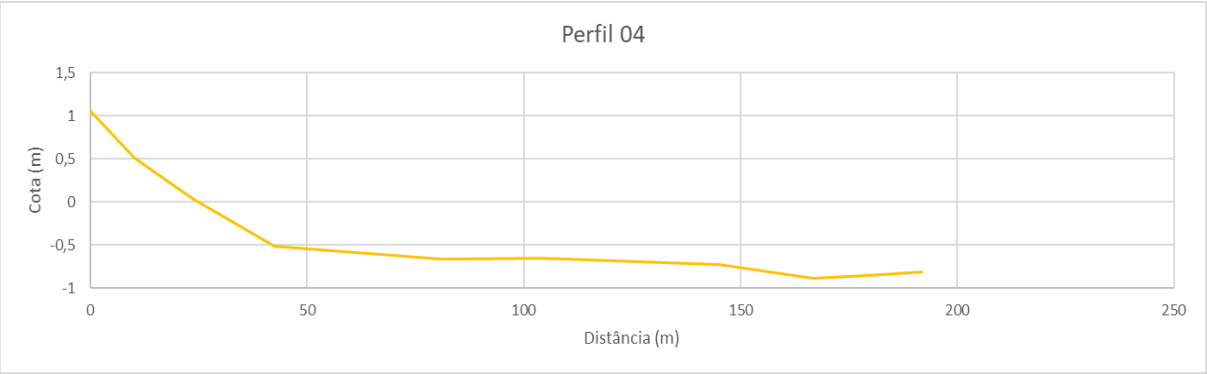


Figura 3.3.1-4: Gráfico dos dados medidos no Perfil 4.

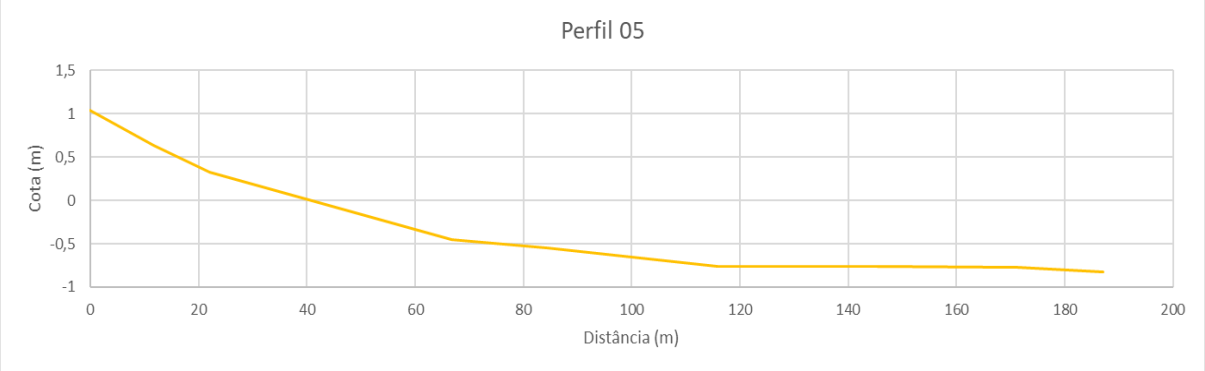


Figura 3.3.1-5: Gráfico dos dados medidos no Perfil 5.

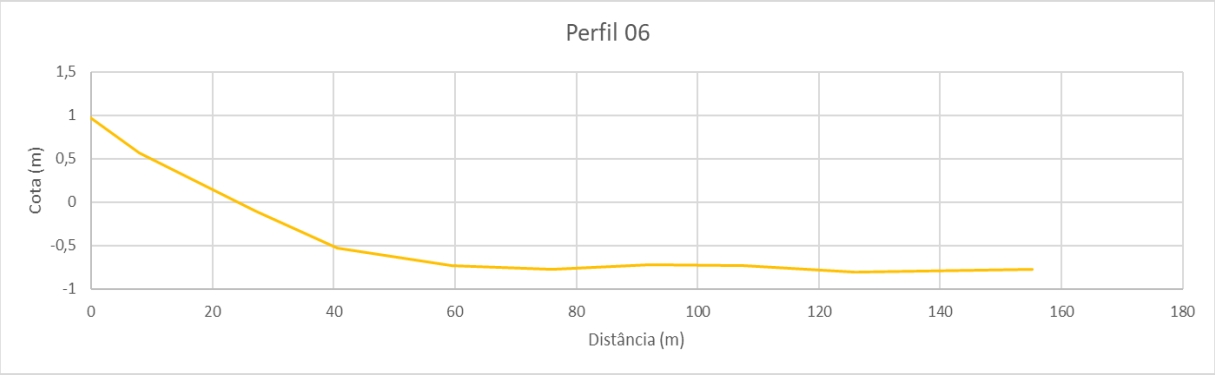


Figura 3.3.1-6: Gráfico dos dados medidos no Perfil 6.

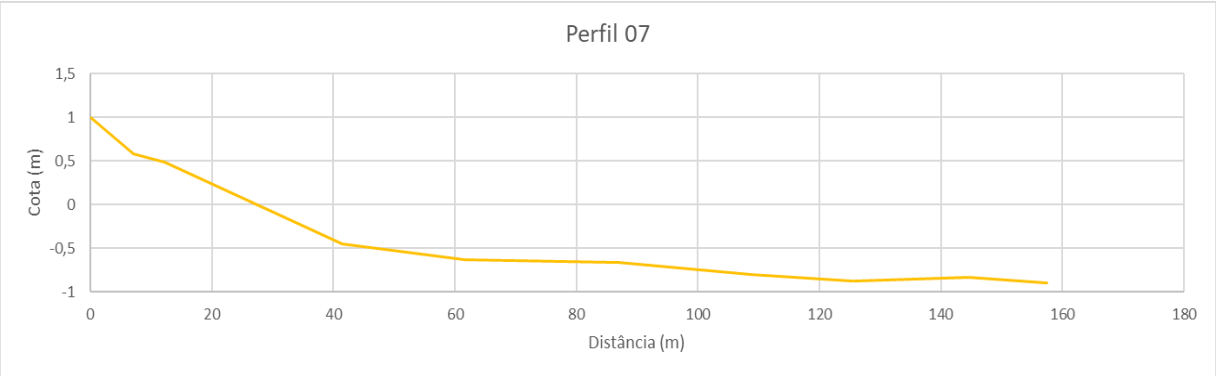


Figura 3.3.1-7: Gráfico dos dados medidos no Perfil 7.

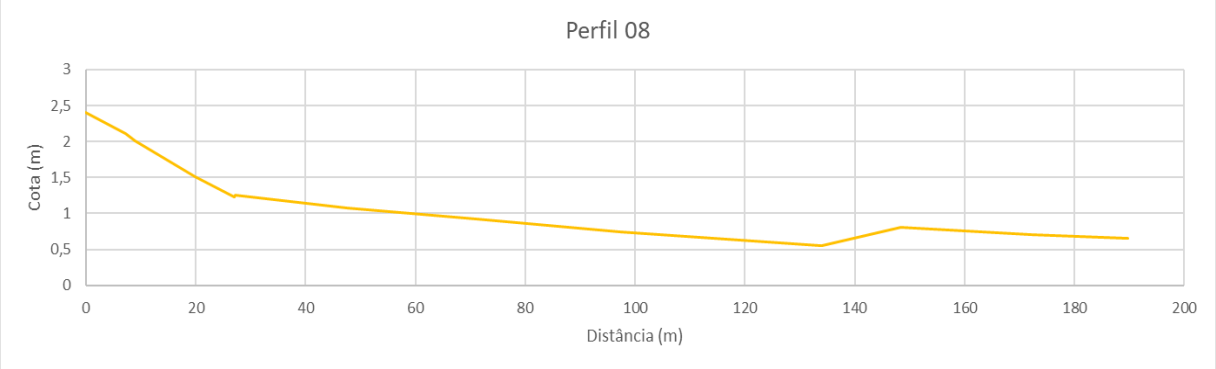


Figura 3.3.1-8: Gráfico dos dados medidos no Perfil 8.

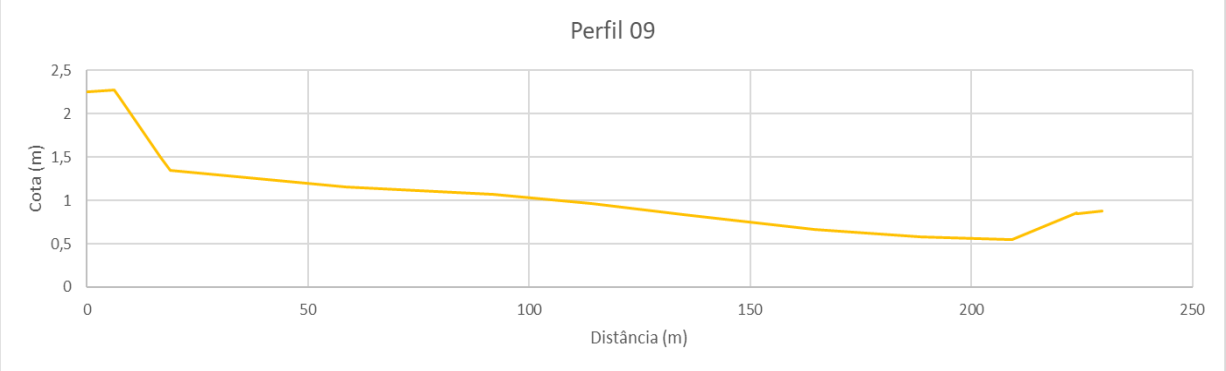


Figura 3.3.1-9: Gráfico dos dados medidos no Perfil 9

3.3.2 Perfis Norte (P.10 a P.18)

A localização dos perfis de praia situados a Norte da foz do Rio Juqueriquerê está representada na figura 3.3.2. Comparado à porção sul analisada no item anterior, os perfis a norte (Figura 3.3.1-10 a Figura 3.3.1-18), apresentam um comportamento diferenciado em relação a declividade e distancia horizontal da face exposta da praia, que corresponde a distância horizontal entre o marco implantado (berma) e o ponto de mudança acentuada de declividade, que caracteriza o início na zona submersa.

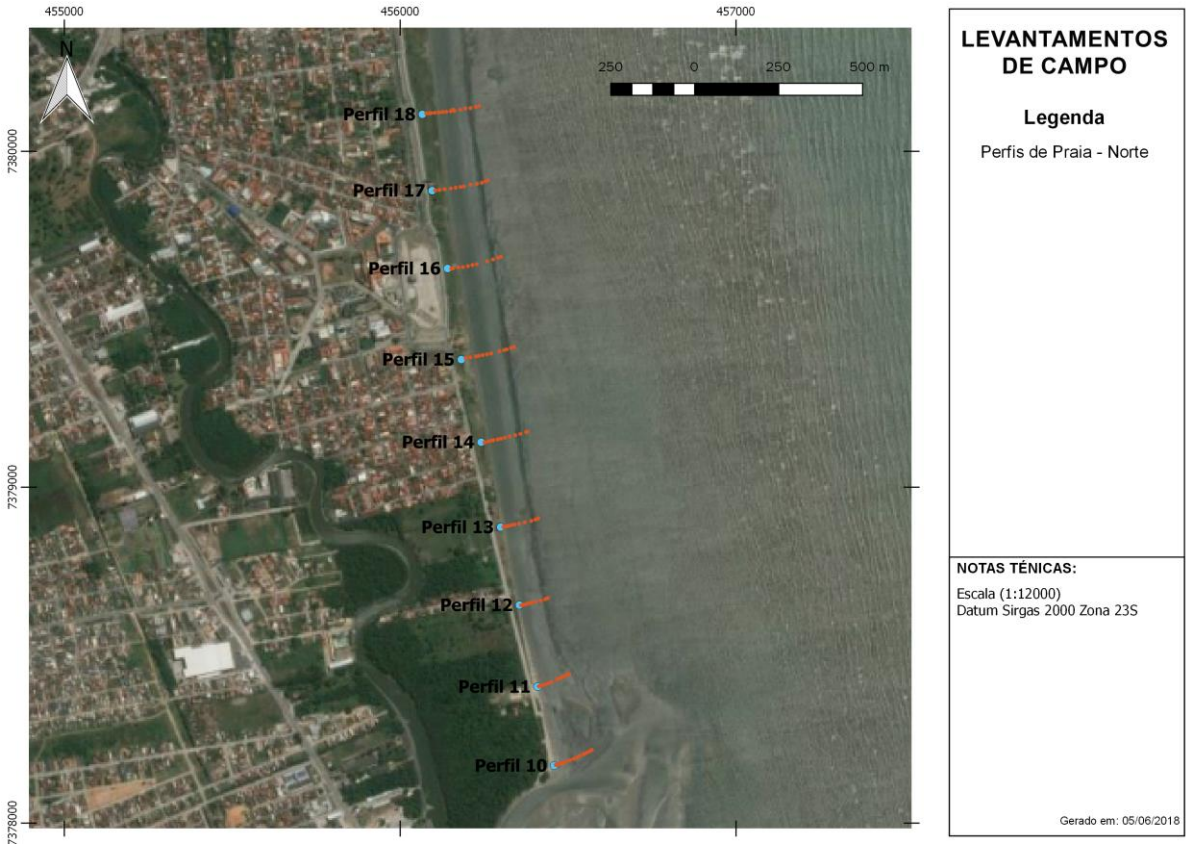


Figura 3.3.2: Mapa de localização dos perfis 10 a 18, a Norte da foz do Rio Juqueriqurê.

Com os marcos de referência destes perfis implantados na porção superior da face praial, na transição entre a praia (berma), e a planície à retaguarda, a cota topográfica (reduzida ao DHN) relativa a estes pontos oscila entre 1,8 e 2 metros de altitude.

As distâncias horizontais oscilaram entre um valor mínimo de 70 m até o máximo de 130 metros (perfil 18).

Assim, as declividades médias (V/H – tangente) correspondem a valores que indicam uma face praial com maior declividade, se comparados aos perfis à sul do rio. Nesta porção da praia são observados valores de 0,06 no perfil 10 e até 0,09 no P.12.

Porém, diferentemente do observado na porção a sul da foz, o transporte sedimentar neste setor costeiro não está diretamente associado a deslocamento de bancos arenosos submersos, mas sim a um transporte longitudinal na faixa de arrebentação das ondas.

Desta forma, não se observam as configurações de bancos, e calhas, que em certos momentos estão dispostos mais distantes, e em outros se colam a linha de costa.

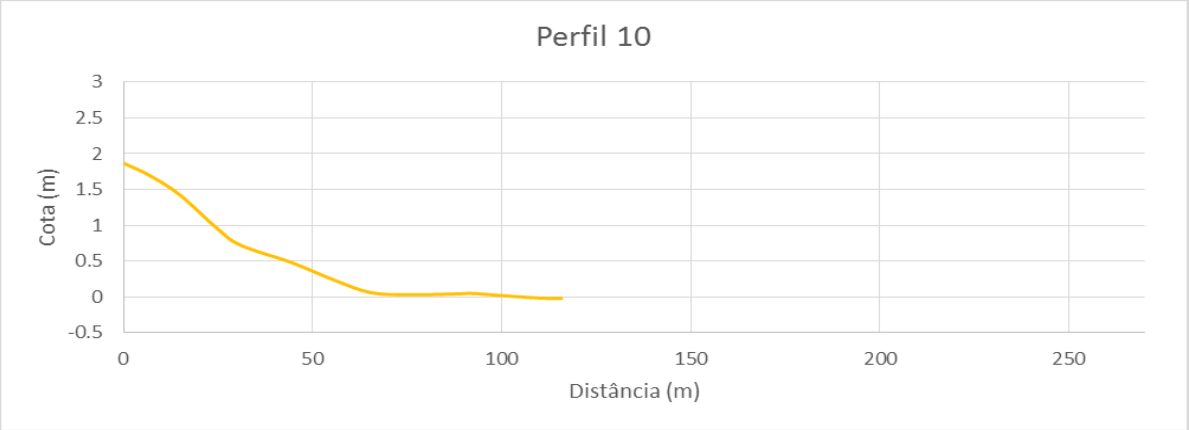


Figura 3.3.1-10: Gráfico dos dados medidos no Perfil 10.

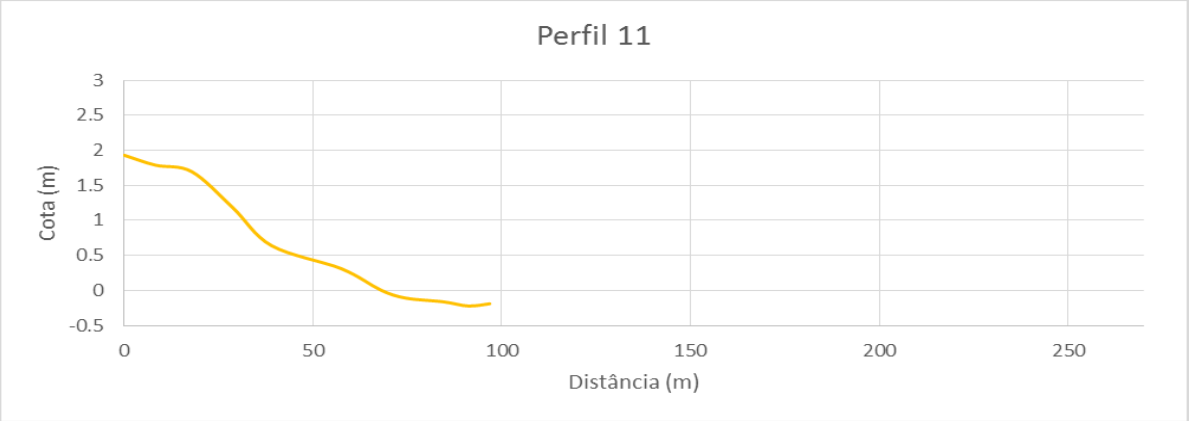


Figura 3.3.1-11: Gráfico dos dados medidos no Perfil 11.

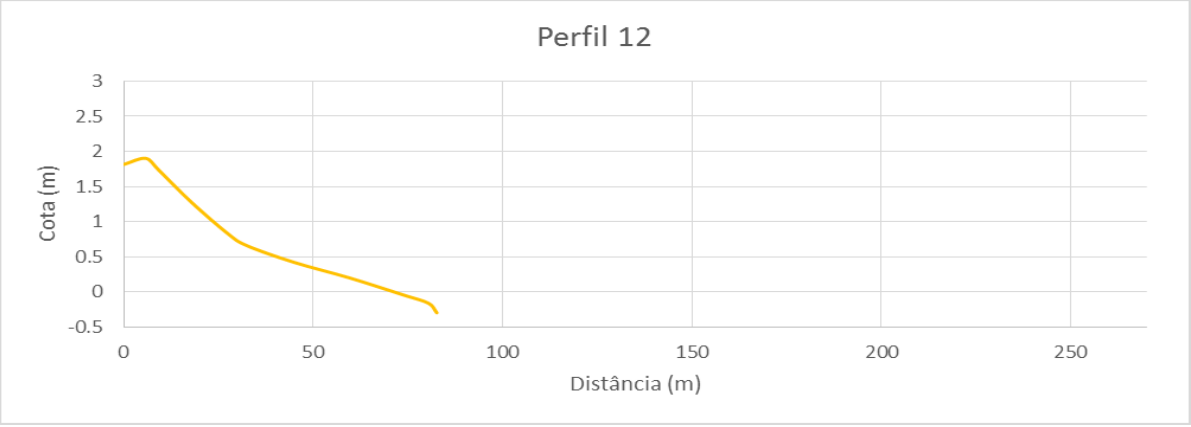


Figura 3.3.1-12: Gráfico dos dados medidos no Perfil 12.

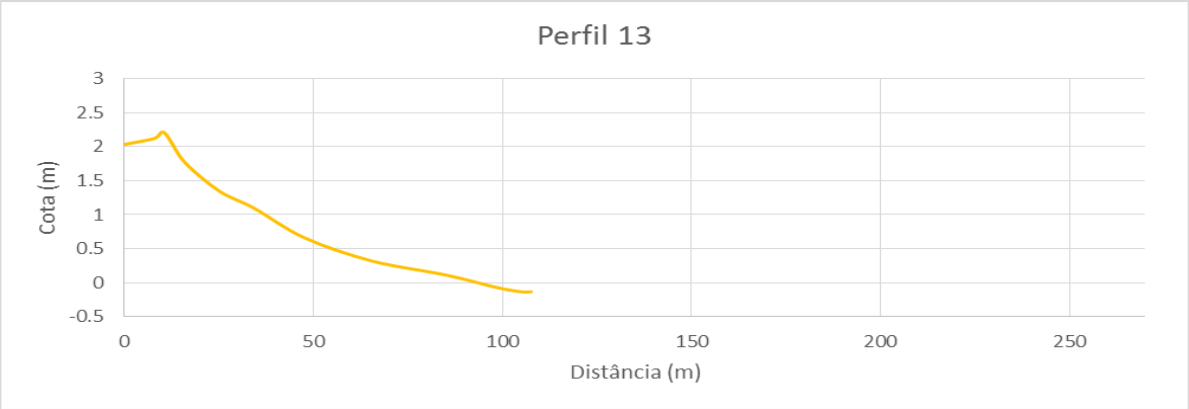


Figura 3.3.1-13: Gráfico dos dados medidos no Perfil 13.

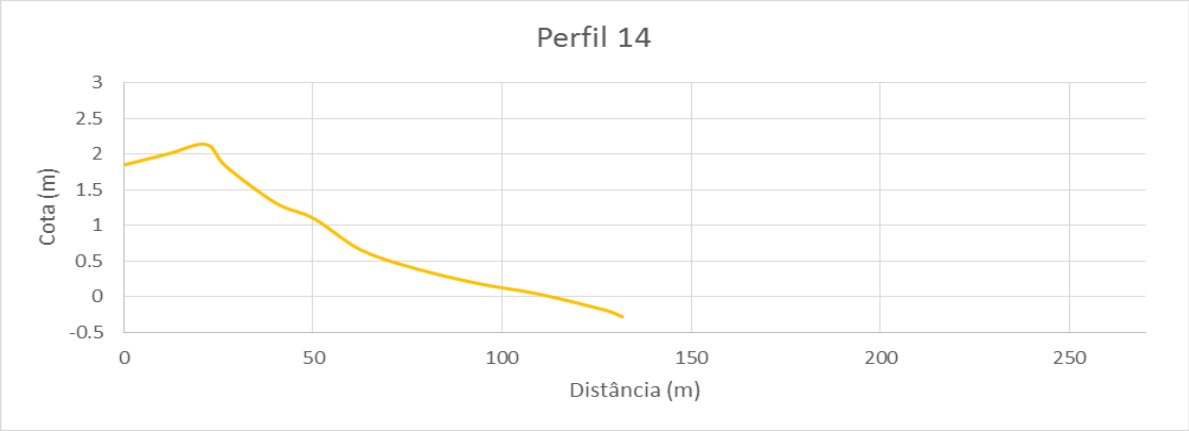


Figura 3.3.1-14: Gráfico dos dados medidos no Perfil 14.

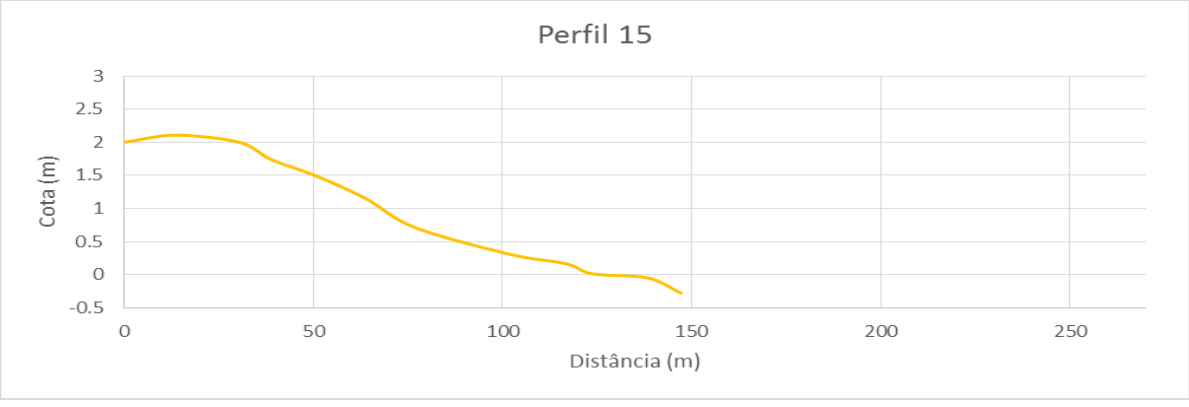


Figura 3.3.1-15: Gráfico dos dados medidos no Perfil 15.

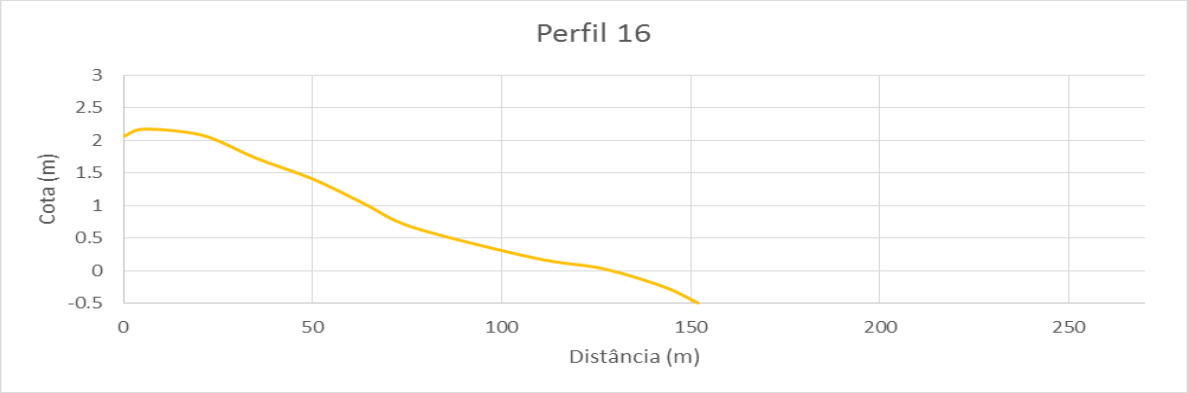


Figura 3.3.1-16: Gráfico dos dados medidos no Perfil 16.

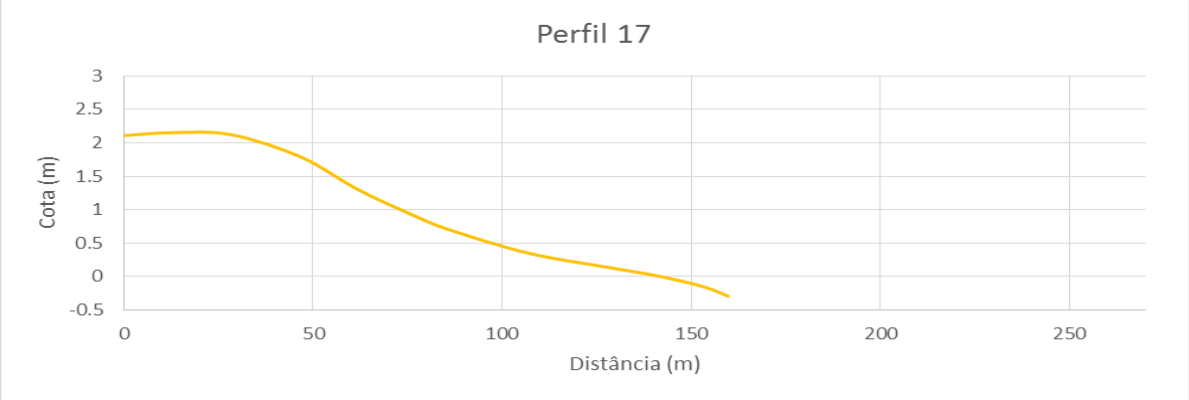


Figura 3.3.1-17: Gráfico dos dados medidos no Perfil 17.

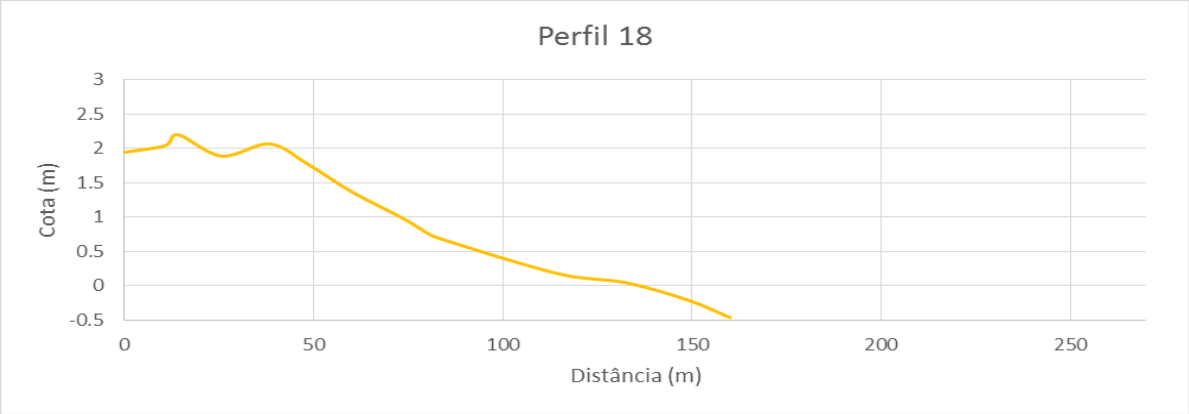


Figura 3.3.1-18: Gráfico dos dados medidos no Perfil 18

3.4. Granulometria dos Perfil de Praia

O objetivo desta etapa é realizar uma caracterização granulométrica dos sedimentos da região. As coletas de sedimento foram realizadas nos perfis praiais, para análises granulométricas.

Em cada um dos 18 pontos foram coletadas, manualmente, 2 amostras de sedimento, distribuídas na Zona de Surfe e de Espraiamento

O sedimento foi analisado quanto a sua granulometria, teor de matéria orgânica e carbonato de cálcio, segundo metodologia proposta por Suguio (1973), apresentado no organograma da Figura 3.4-1.

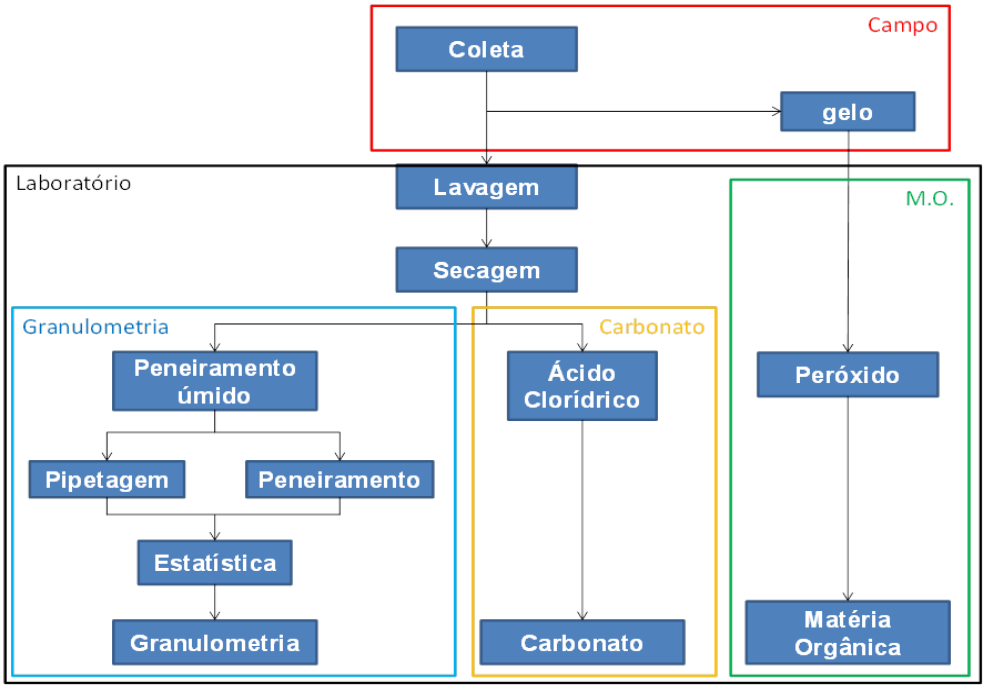


Figura 3.4-1: Sequência de processamento das amostras de sedimentos.

Sobre os dados obtidos da granulometria aplicou-se as análises estatísticas segundo o método de Folk & Ward (1957) obtendo-se a frequência simples e acumulada, média, mediana, desvio-padrão, curtose e assimetria.

O conjunto das análises granulométricas das amostras dos sedimentos coletados ao longo dos perfis, na região de implantação dos marcos de referência

(berma), e na área submersa, indicaram a prevalência de sedimentos arenosos (Tabela 3.4-1)

Os sedimentos arenosos, predominantes ao longo de toda a área, são constituídos de areias muito finas a finas (≥ 85%), sem a contribuição de sedimentos carbonáticos e matéria orgânica, com algumas amostras sendo representadas por mais de 99% das frações areia e cascalho.

Os sedimentos coletados mais ao sul da foz (P.1 a P.9), apresentam uma contribuição secundária de termos mais finos (siltes), predominantemente na zona de surfe entre os perfis P.2 e P3. (11,5% e 14,6%), e nas proximidades da foz (P.8 – 11,6%).

O setor compreendido entre os perfis P.6 e P.8 indicou maior contribuição de sedimentos mais finos (siltes e argilas), nas posições da face praial emersa (espraiamento).

Considerando que as contribuições de sedimentos atuais, areias e siltes, são provenientes do transporte ao longo da linha de costa, associados à contribuição fluvial têm que os sedimentos mais finos (siltes) se deslocam, predominantemente para sul, a partir da contribuição da carga em suspensão aportada pelo rio, incorporando-se aos sedimentos presentes na zona de surfe.

Todos os perfis a sul apresentam uma maior, ou menor, contribuição de sedimentos siltosos em sua zona de surfe, a exceção do perfil junto a foz (P.9), indicando que a dinâmica fluvial é competente nos processos de remobilização destes sedimentos para áreas mais distantes da foz.

Igualmente ao observado para os sedimentos dispostos ao sul da foz, os sedimentos coletados nos perfis a norte (P.10 a P.18) correspondem a termos arenosos muito finos a finos sem contribuição significativa de sedimentos carbonáticos, conchas, e ausência de matéria orgânica.

Porém, é significativa a presença de termos mais finos (siltes) nas zonas de espraiamento entre os perfis P.14 e P.15 e entre os perfis P.17 e P.18 com porcentagens média dos mais finos atingindo 25%.

A amostra do espraiamento (esp) do perfil P.15, apresenta resultado completamente distinto do padrão regional, arenoso, indicando teores de finos (siltes) da ordem de 75%. Este ponto deverá ser reavaliado na medida em que não é comum sedimentos com teores elevados de siltes e argilas não apresentar indicativos de contribuição de sedimentos carbonáticos e ou matéria orgânica.

A zona de surfe deste segmento costeiro indica a presença de termos mais finos, carga de suspensão, identificadas nas amostras coletadas em todos os perfis deste setor.

Desta forma, tem-se a possibilidade de que a carga de suspensão de contribuição fluvial possa ser também direcionada no sentido norte, ou então que estes sedimentos mais finos também possam ser provenientes dos setores mais a norte da enseada de Caraguatatuba.

Tabela 3.4-1: Caracterização sedimentológica das amostras coletadas nos perfis de praia em ponto do espraiamento (ESP) e zona de surfe (ZS).

Amostra	% Areia + Cascalho	% Silte + Argila	Dm (phi)
P.01 ESP	99,70	0,30	-0,50
P.01 ZS	91,92	8,08	3,34
P.02 ESP	99,70	0,30	1,11
P.02 ZS	88,55	11,45	3,50
P.03 ESP	99,18	0,82	2,64
P.03 ZS	85,39	14,61	3,58
P.04 ESP	98,94	1,06	3,46
P.04 ZS	95,26	4,74	3,49
P.05 ESP	99,66	0,34	3,20
P.05 ZS	90,88	9,12	3,58
P.06 ESP	88,98	11,02	3,51
P.06 ZS	92,70	7,30	3,61
P.07 ESP	71,76	28,24	3,60
P.07 ZS	97,33	2,67	3,30
P.08 ESP	94,31	5,69	3,10
P.08 ZS	88,44	11,56	3,06
P.09 ESP	98,78	1,22	2,77
P.09 ZS	99,46	0,54	2,27
P.10 ESP	99,66	0,34	2,97
P.10 ZS	82,20	17,80	3,61
P.11 ESP	97,62	2,38	2,96
P.11 ZS	95,52	4,48	3,54
P.12ESP	98,67	1,33	3,46
P.12 ZS	92,98	7,02	3,54
P.13 ESP	88,99	11,01	3,46
P.13 ZS	95,91	4,09	3,49
P.14 ESP	78,89	21,11	3,67
P.14 ZS	95,94	4,06	3,64
P.15 ESP	24,40	75,60	4,22
P.15 ZS	96,84	3,16	3,72
P.16 ESP	94,60	5,40	3,58
P.16 ZS	91,31	8,69	3,73
P.17 ESP	76,16	23,84	3,69
P.17 ZS	79,57	20,43	3,84
P.18 ESP	73,08	26,92	3,79
P.18 ZS	86,56	13,44	3,68
MÉDIA	**89,72**	**10,28**	**3,26**

3.5. Análises Físico-Químicas

O objetivo desta etapa é realizar uma caracterização granulométrica e físico-química dos sedimentos da região. Foram realizadas coleta de amostras no leito navegável do Rio Juqueriquerê, para caracterização da qualidade química dos sedimentos.

A realização de dragagens e disposição de sedimentos no meio aquático depende de licenciamento ambiental. A Resolução 454/2012 do CONAMA é a principal base legal e dá as diretrizes da atividade de dragagem e disposição. Seu principal conceito é a qualidade química dos sedimentos e seus potenciais impactos sobre as comunidades biológicas.

A citada resolução estabelece concentrações máximas aceitáveis para uma série de compostos químicos, sendo essas concentrações utilizadas como valores de referência para gestão dos sedimentos dragados, no ato do licenciamento da atividade.

Assim, visando já vencer essa etapa, visto que a dragagem será atividade complementar e associadas à estabilização da barra do rio, as análises químicas previstas na resolução já foram aqui realizadas.

As amostras para as análises químicas foram obtidas do sedimento no leito do rio Juqueriquerê, distribuídas entre a ponte da rodovia e a barra do rio, com dois pontos adentrando ao mar, mas ainda no canal de navegação do rio Juqueriquerê.

As análises químicas seguiram os métodos relacionados no “STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTERWATER”, na sua última edição.

O laboratório possui tradição em análises químicas de amostras de sedimentos estuarinos, tendo acreditação para essa matriz e analito, conforme escopo no INMETRO segundo a Norma NBR ISO/IEC 17.025 de sistema de qualidade analítica implantado.

A Tabela que segue apresenta os compostos analisados.

Tabela 3.5-1. Substâncias analisadas conforme solicitação da Res. 454/12.

SUBSTÂNCIAS	
Metais	Arsênio
	Cádmio
	Chumbo
	Cobre
	Cromo
	Mercúrio
	Níquel
	Zinco
TBT	Tributilestanho
Pesticidas Organoclorados	a-BHC
	b-BHC
	d-BHC
	g-BHC
	a-Clordano
	g-Clordano
	DDD
	DDE
	DDT
	Dieldrin
	Endrin
PCB	Bifenilas Policloradas Totais
Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos	Benzo(a)antraceno
	Benzo(a)pireno
	Criseno
	Dibenzo(a,h)antraceno
	Acenafteno
	Acenaftileno
	Antraceno
	Fenantreno
	Fluoranteno
	Fluoreno
	2-Metilnaftaleno
	Naftaleno
	Pireno
	Somatória de HAPs
COT e Nutrientes	Carbono Orgânico Total
	Nitrogênio Kjeldahl Total
	Fósforo Total
Granulometria	7 Classes

A Resolução CONAMA nº 454/12 sugere em sua Tabela I o número de amostras para caracterização química em função do volume a ser dragado. Devido a indefinição do volume exato a ser dragado foi sugerido aqui um número de amostras referente a um volume de 100.000,00 mil de metros cúbicos de sedimentos a serem dragados. Para tanto, foram coletadas 6 amostras pontuais na superficiais na Área Diretamente Afetada (ADA) do referido empreendimento, ou seja, na área a ser dragada.

Os pontos amostrais (malha amostral) foram selecionados de modo a cobrir o trecho do rio, em acordo com a localização da área navegável a ser dragada (Figura 3.5-1).

Figura 3.5-1 - Localização dos 6 pontos de amostragem de sedimentos para a caracterização química conforme a Resolução CONAMA 454/2012.

A coleta das 6 amostras foi realizada com o emprego de um amostrador do tipo Van Veen confeccionado em aço inox (Figura 3.5-2).

Figura 1.5-2 - Amostrador de sedimentos do tipo Van Veen.

Após a coleta, os sedimentos foram dispostos em uma bandeja de aço inox para medições de parâmetros físico-químicos *in situ* e posteriormente acondicionamento para encaminhamento ao laboratório. Foram realizadas medidas *in situ* de parâmetros temperatura, pH e Potencial de Óxido-redução.

Em seguida, as alíquotas foram acondicionadas em frascos apropriados conforme métodos de preservação estabelecidos em norma (frascaria específica descontaminada, reagentes e resfriadas), devidamente identificados e encaminhadas ao laboratório para realização das análises químicas. As amostras são então armazenadas em caixas térmicas com gelo e mantidas sob refrigeração, a temperatura ≤ 6ºC (evitando congelamento), desde o momento da coleta até a entrega das amostras ao laboratório responsável pelas análises. (Figura 3.5-3).

Figura 3.5-3 – Sedimentos dispostos em bandeja de aço inox, medição de parâmetros *in situ* e amostras sendo acondicionadas.

Durante a campanha de coleta de sedimentos foram obtidos dados de temperatura (ºC), pH e ORP (mV), medidos in situ, nas amostras coletadas, através de sonda multiparametro (Tabela 3.5-2.).

Tabela 3.5-2: Dados das medições de parâmetros físico-químicos *in situ* nas amostras de sedimento coletadas.

Pontos	Data/Hora	Prof Total (m)	Coordendas (UTM – SIRGAS 2000)		Temperatura (°C)	pH	ORP(mV)
			N (m)	L (m)			
P01	14/12/17 14:41	0,8	7378264	456931	25,5	7,23	87
P02	14/12/17 14:15	1,0	7378173	456664	25,6	7,19	73
P03	14/12/17 13:51	1,6	7378030	456375	25,7	7,27	-60
P04	14/12/17 13:29	2,3	7378488	455910	24,0	7,17	-192
P05	14/12/17 13:01	2,2	7379119	455402	26,0	6,77	-135
P06	14/12/17 12:31	2,5	7379815	455130	23,8	7,91	-127

A tabela 3.5-3 apresenta os métodos analíticos empregados nas análises químicas com amostras de sedimento. As tabelas 3.5-4 a 3.5-8 apresentam os resultados das análises químicas. As tabelas 3.5-10 e 3.5-11 apresentam os resultados das análises granulométricas.

Nas tabelas também são indicados os valores limites referentes ao Nível 1 e Nível 2 para cada substância em amostras de sedimento de águas salinas/salobra.

Os laudos analíticos integrais são anexos em volume separado deste relatório, onde pode ser confirmada uma série de informações, como procedimentos de controle de qualidade, CAS, Cromatogramas e outras informações relevantes.

Tabelas 3.5-3: Métodos analíticos utilizados pelo laboratório

Substância	Frasco de armazenamento	Método analítico
Metais	Polietileno ou vidro	US EPA 6010C 2007
TBT	vidro	SM-6710 Tributyl Tin 2011
Pesticidas Organoclorados	vidro	US EPA 8081B 2007
PCB	vidro	US EPA 8082A 2007
Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos	vidro	US EPA 8270D 2007
Carbono Orgânico Total	vidro	Embrapa IAC 1ª Ed. 2001
Nitrogênio Kjeldahl Total	vidro	SMWW 22nd Ed. 2012 4500 Norg.B
Fósforo Total	vidro	US EPA 6010C 2007
Granulometria	Polietileno	Boletim IAC 106 Embrapa 2011

Os pontos intitulados P1 a P6 estão localizados na ordem de jusante a montante, ou seja, a amostra P1 situa-se no mar, fora da barra do Rio Juqueriquerê e a amostra P6 é a coletada mais a montante entre elas. A amostra P2 ainda localiza-se no mar, enquanto a amostra P3 foi coletada exatamente na foz do Rio.

As amostras P4, P5 e P6 são todas internas, coletadas no leito do Rio Juqueriquerê.

As análises de metais nas amostras de sedimento estão apresentadas na tabela 3.5-4:

Tabela 3.5-4: Tabela com o resultado das análises de Metais (em mg/Kg)

Parâmetros	P01	P02	P03	P04	P05	P06	Nível 1	Nível 2
Arsênio	< 2,02	< 2,01	< 2,12	< 2,67	< 6,02	< 1,96	19	70
Cádmio	< 0,449	< 0,446	< 0,470	< 0,593	< 1,34	< 0,435	1,2	7,2
Chumbo	< 2,69	< 2,67	< 2,82	6,04	16,5	< 2,61	46,7	218
Cobre	< 2,69	4,65	6,77	9,89	23,4	5,51	34	270
Cromo	< 6,06	< 6,02	< 6,35	< 8,01	18,5	< 5,87	81	370
Mercúrio	< 0,135	< 0,134	< 0,141	< 0,178	< 0.134	< 0,130	0,3	1,0
Níquel	< 2,69	< 2,67	< 2,82	< 3,56	< 8,03	< 2,61	20,9	51,6
Zinco	19,0	11,1	22,6	32,6	69,0	9,03	150	410

Dos 48 resultados obtidos nas análises de metais (6 amostras x 8 substâncias), 34 ficaram abaixo dos Limites de Quantificação (LQ) do método de análise laboratorial, enquanto que 14 resultados puderam ser quantificados.

Porém, absolutamente todos os 14 resultados que foram quantificados apresentaram concentrações inferiores às estabelecidas como Nível 1 para águas salinas e salobras da Tabela III da Resolução CONAMA 454/12,

Entende-se como Nível 1, segundo a Res. 454/12, valor limite indicado da substância para o possível ocorrência de impactos às comunidades biológicas, ou ainda, concentração abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota. Há entendimento, à luz da resolução, que sedimentos com qualidade química enquadrada nos limites do Nível 1 possam ter o licenciamento da dragagem e disposição sem a necessidade de estudos mais complexos.

Foram quantificados os metais cromo, chumbo, cobre, cromo e zinco.

Todas as amostras apresentaram valores para Zinco, porém em concentração baixas, significativamente inferiores à referência do Nível 1.

O Cobre foi encontrado em 5 das amostras (exceto na P1), em valores também inferiores ao Nível 1 da Res. 454/2012.

O Chumbo foi encontrado nas amostras P4 e P5, porém, mais uma vez, em valores significativamente inferiores ao estabelecido para o Nível 1.

O Cromo foi quantificado somente na amostra coletada no Ponto P5; também bem abaixo do estabelecido para o Nível 1.

A amostra coletada no ponto P1 apresentou valor somente para um metal, o Zinco, ao passo que a amostra do Ponto P5 apresentou concentrações (baixas) para 4 metais. Essa observação está mais associada às características granulométricas da amostra do que propriamente de eventual localização de fontes de contaminação. A amostra do ponto P5 apresentou as maiores contribuições de frações finas, como silte e argila, bem como Carbono Orgânico Total, com características propícias à retenção de diferentes compostos, principalmente por adsorção. Possivelmente nesse ponto há condições de redução do transporte, favoráveis à sedimentação e por consequência, explicando os valores observados.

Uma observação é feita em relação ao Cádmio. Independente de seus baixos valores encontrados, as concentrações reportadas nos laudos analíticos representam estimativas de concentração, visto que apesar do baixo limite de detecção, a concentração indicada fica abaixo do Limite de Quantificação do Método (LQM), limite este que garante acuracidade e reduz incerteza analítica.

Já o método analítico utilizado para quantificação do mercúrio possibilita detecção em baixíssimas concentrações, ainda na casa de µg/kg, sendo todavia, reportados em mg/kg para permitir comparação direta ao valor de referência do Nível 1 da Res. 454/12.

A tabela que segue apresenta os resultados da análise de Tributilestanho (TBT) feitas nas 6 amostras de sedimentos coletadas no Rio Juqueriquerê:

Tabela 3.5-5: Tabela com o resultado das análises de Trbutilestanho (em µg/Kg)

Parâmetro	P01	P02	P03	P04	P05	P06	Nível 1	Nível 2
Tributilestanho	< 0,8075	< 0,8021	< 0,8463	< 1,07	< 2,41	< 0,7823	100	1000

O Tributilestanho (TBT) apresentou resultados abaixo dos limites de quantificação do método analítico utilizado em todas as 6 amostras analisadas, não indicando ser um composto preocupante na região, apesar de sua histórica aplicação em tintas anti-incrustantes para embarcações.

Já na tabela abaixo são apresentados os resultados da análise dos Pesticidas Organoclorados nas amostras coletadas:

Tabela 3.5-6: Tabela com o resultado das análises de Pesticidas Organoclorados (em µg/Kg)

Parâmetros	P01	P02	P03	P04	P05	P06	Nível 1	Nível 2
a-BHC	< 0,081	< 0,080	< 0,085	< 0,107	< 0,241	< 0,078	0,32	0,99
b-BHC	< 0,081	< 0,080	< 0,085	< 0,107	< 0,241	< 0,078	0,32	0,99
d-BHC	< 0,081	< 0,080	< 0,085	< 0,107	< 0,241	< 0,078	0,32	0,99
g-BHC	< 0,081	< 0,080	< 0,085	< 0,107	< 0,241	< 0,078	0,32	0,99
a-Clordano	< 0,081	< 0,080	< 0,085	< 0,107	< 0,241	< 0,078	2,26	4,79
g-Clordano	< 0,081	< 0,080	< 0,085	< 0,107	< 0,241	< 0,078	2,26	4,79
DDD	< 0,081	< 0,080	< 0,085	< 0,107	< 0,241	< 0,078	1,22	7,81
DDE	< 0,081	< 0,080	< 0,085	< 0,107	< 0,241	< 0,078	2,07	374
DDT	< 0,081	< 0,080	< 0,085	< 0,107	< 0,241	< 0,078	1,19	4,77
Dieldrin	< 0,081	< 0,080	< 0,085	< 0,107	< 0,241	< 0,078	0,71	4,3
Endrin	< 0,081	< 0,080	< 0,085	< 0,107	< 0,241	< 0,078	2,67	62,4

Os compostos conhecidos como Pesticidas Organoclorados (POC) analisados também apresentaram resultados abaixo dos limites de quantificação do método em todas as amostras, para cada um dos compostos analisados.

Tais compostos apresentam significativo potencial de promover efeitos deletérios sobre as comunidades biológicas mesmo em baixas concentrações, por isso seus limites estabelecidos na resolução serem tão baixos, exigindo LQM's ainda mais baixos.

A tabela abaixo apresenta os resultados da análise de PBB's Totais:

Tabela 3.5-7: Tabela com o resultado das análises de PCB (em µg/Kg)

Parâmetros	P01	P02	P03	P04	P05	P06	Nível 1	Nível 2
Bifenilas Policloradas Totais (PCB´s)	< 0,0808	< 0,0802	1,02	< 0,1068	1,64	1,02	22,7	180

As Bifenilas Policloradas (PCB) analisados apresentaram resultados significativamente inferiores ao estabelecido no Nível 1, tendo 3 amostras apresentando concentrações abaixo dos limites de quantificação do método analítico (P1, P2 e P4) e outras 3 amostras com valores baixos reportados (P3, P5 e P6).

Os resultados das análises de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA) estão apresentados na tabela que segue:

Tabela 3.5-8: Tabela com o resultado das análises de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (em µg/Kg)

Parâmetros	P01	P02	P03	P04	P05	P06	Nível 1	Nível 2
Benzo(a)antraceno	< 4,04	< 4,01	< 4,23	< 5,34	< 12,05	< 3,91	280	690
Benzo(a)pireno	< 4,04	< 4,01	< 4,23	< 5,34	< 12,05	< 3,91	230	760
Criseno	< 4,04	< 4,01	< 4,23	< 5,34	< 12,05	< 3,91	300	850
Dibenzo(a,h) antraceno	< 4,04	< 4,01	< 4,23	< 5,34	< 12,05	< 3,91	43	140
Acenafteno	< 4,04	< 4,01	< 4,23	< 5,34	< 12,05	< 3,91	16	500
Acenaftileno	< 4,04	< 4,01	< 4,23	< 5,34	< 12,05	< 3,91	44	640
Antraceno	< 4,04	< 4,01	< 4,23	< 5,34	< 12,05	< 3,91	85,3	1100
Fenantreno	< 4,04	< 4,01	< 4,23	< 5,34	< 12,05	< 3,91	240	1500
Fluoranteno	< 4,04	< 4,01	< 4,23	< 5,34	< 12,05	< 3,91	600	5100
Fluoreno	< 4,04	< 4,01	< 4,23	< 5,34	< 12,05	< 3,91	19	540
2-Metilnaftaleno	< 4,04	< 4,01	< 4,23	< 5,34	< 12,05	< 3,91	70	670
Naftaleno	< 4,04	< 4,01	< 4,23	< 5,34	< 12,05	< 3,91	160	2100
Pireno	< 4,04	< 4,01	< 4,23	< 5,34	< 12,05	< 3,91	665	2600
Somatória de HAPs	< 4,04	< 4,01	< 4,23	< 5,34	< 12,05	< 3,91	4000	-

Todos os resultados obtidos para os compostos de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA) apresentaram valores abaixo dos limites de

quantificação do método analítico, em todas as amostras analisadas, inclusive para o somatório dos compostos individuais, não indicando contaminação dos sedimentos do Rio Juqueriquerê por estes compostos orgânicos.

A tabela 3.5-9 apresenta os resultados das análises de Carbono Orgânico, Nitrogênio Kjeldahl e Fósforo total.

Tabela 3.5-9: Tabela com o resultado das análises de Carbono Orgânico e Nutrientes (COT em % e NKT e P em mg/Kg).

Parâmetros	P01	P02	P03	P04	P05	P06	Valor Alerta
Carbono Orgânico Total (COT)	< 0,740	< 0,740	< 0,740	1,02	4,09	0,740	10
Nitrogênio Kjeldahl Total	64,0	37,8	97,6	496,9	2366,5	57,3	4800
Fósforo Total	123,3	95,1	110,2	203,4	1160,1	106,5	2000

Para o caso, a Resolução 454/12 não indica valores orientadores com Nível 1 e 2, e sim, Valores de Alerta.

Todas as amostras analisadas apresentaram concentrações de fósforo total, nitrogênio Kjeldahl total e carbono orgânico total abaixo dos valores de alerta.

Atenção se dá a amostra do P5, com os maiores valores encontrados. Todavia, tais valores remetem a ambientes naturalmente ricos em matéria orgânica, por exemplo, nas imediações de manguezais, como no caso, associados aos sedimentos mais finos e lamosos observados.

Tais características podem ser observadas nas análises granulométricas das amostras apresentadas na tabela 3.5-10:

Tabela 3.5-10: Tabela com o resultado das análises de Granulometria

Frações	P01	P02	P03	P04	P05	P06
Areia muito grossa	< 0,110	0,177	0,241	0,456	4,56	4,66
Areia grossa	0,452	1,29	0,286	0,440	4,69	45,7
Areia média	4,87	15,8	4,55	2,23	4,47	40,5
Areia muito fina	44,7	16,0	46,5	53,1	24,5	1,85
Areia fina	46,9	65,1	44,0	23,4	13,8	5,67
Silte	1,31	0,748	1,78	13,4	34,2	0,724
Argila	1,76	0,840	2,71	6,72	13,8	0,840

A tabela 3.5-11 abaixo apresenta os mesmos dados, apenas de forma resumida, reduzida a duas frações principais, Areias e Lamas. O detalhamento e características de cada amostra pode ser feiro pela análise das 7 frações, mas a redução para somente 2 frações também permite outras observações.

Tabelas 3.5-11: Tabela resumo das análises Granulométricas

Frações (%)	P01	P02	P03	P04	P05	P06
Areia (todas as frações)	96,92	98,37	95,58	79,63	52,02	98,38
Lama (silte+argila)	3,07	1,59	4,49	20,12	48,00	1,56

As análises sedimentológicas indicam um predomínio da fração de areia em 5 das 6 amostras analisadas. As amostras P1, P2, P3 e P6 apresentaram proporções superiores a 95% de areias.

Somente a amostra coletada no ponto P5 apresentou certa equivalência entre a proporção de areia e lama, com elevada presença de silte (34%). A amostra do P4 também apresentou certa proporção significativa de lamas (20%).

As amostras oriundas dos pontos P1 a P5 apresentaram grande contribuição proporcional das frações de areias fina e muito fina. Somente a amostra P6 apresentou composição com predomínio de areias média e grossa.

Assim, conclui-se preliminarmente que a disposição do material dragado em águas sob jurisdição nacional é viável, sem maiores óbices ambientais ou necessidade de estudos complementares, visto os resultados da caracterização química dos sedimentos do Rio Juqueriquerê, ao se comparar com a classificação estabelecida conforme a Resolução 454/12, principalmente no enquadramento ao art. 19 e tabela III.

O relatório final consolidado irá apresentar uma discussão dos resultados das análises químicas dos sedimentos do Rio Juqueriquerê à luz das diretrizes da Resolução CONAMA 454/12, com seus reflexos para o gerenciamento da disposição dos sedimentos dragados em águas jurisdicionais brasileiras.

3.5.1 Controle de Qualidade

O controle da qualidade em análises químicas são procedimentos essenciais para se garantir a confiabilidade e acurácia dos resultados obtidos nas amostras, visto que tais informações estão em ordem de grandeza muito reduzidas, em geral, sendo utilizadas na tomada de decisão pelos analistas nos processos de licenciamento, fiscalização e determinação de ações.

Com um controle de qualidade implantado, pode ter credibilidade nos resultados e assegurar a conformidades de suas análises segundo padrões e normais nacionais e internacionais.

Sondas devem estar calibradas e os equipamentos de coleta e frascos limpos e descontaminados.

Além da já citada acreditação do laboratório pelo Instituto Nacional de Metrologia - INMETRO pela Norma NBR ISO/IEC 17.025, alguns procedimentos citados nos laudos visam garantir os resultados obtidos.

Um dos procedimentos é a realização de análises denominadas Branco, nas quais são possíveis avaliar eventuais interferências causadas por manipulação, contaminação, reagentes, entre outros. Os resultados dos brancos de análise estão descritos nos laudos analíticos (anexo 3), onde se observa que os resultados

ficaram abaixo dos limites de quantificação do método, indicando ausência de interferência ou contaminação durante as preparações e análises das amostras.

Importante também são os procedimentos para verificação da recuperação dos padrões de controle e critérios de aceitação QA/QC. Quantidades conhecidas de compostos traçadores são adicionados com o objetivo de avaliar o grau de recuperação e exatidão dos métodos. Os resultados devem estar dentro das faixas aceitáveis de recuperação. Podem ser adicionados nas amostras diferentes compostos orgânicos, por exemplo, como HPA ou PCB, similares aos compostos que se deseja analisar, porém ausentes nas amostras ambientais. Os resultados destes surrogates devem ser aceitos pela recuperação dos compostos dentro dos critérios da qualidade. Foram utilizados os compostos orgânicos: 2-fluorbifenil, terfenil-d14, 2-fluorfenol, fenol-d6, nitobenzeno-d5 e 2,4,6-Tribromofenol, além dos PCB Tetracloro-m-xileno e Pesticida Organoclorado decaclorobifenil. A recuperação dos surrogates destas análises atenderam os critérios, validandos os resultados obtidos.

Uma amostra Spike também é um método de controle analítico laboratorial da exatidão do método por adição de substâncias com concentração conhecidas diretamente nas amostras que serão analisadas. Conforme se pode observar nos laudos analíticos, as matrizes spike também apresentaram-se dentro da recuperação aceita pelos métodos, validando as análises.

3.6. Levantamento batimétrico

Dispor de uma batimetria de boa qualidade é um elemento chave para qualquer estudo referente à dinâmica marinha, já que a propagação das ondas até a costa responde, entre outras coisas, à morfologia do fundo marinho.

Quando se aproximam da costa, as ondas sofrem transformações em função das formas do fundo e por isso, para um melhor desenvolvimento desse estudo, se faz necessário caracterizar o ambiente marítimo em profundidades próximas à costa, onde se necessita uma batimetria de alta resolução.

O levantamento batimétrico foi realizado pelo sistema de batimetria computadorizada, com as medições de profundidade por meio de ecobatímetro digital monofeixe de precisão e posicionamento automático dos pontos sondados por sistema DGPS com correção diferencial satelital e precisão submétrica.

As linhas de sondagem foram previamente lançadas em carta digital, de forma a permitir seu acompanhamento, em tempo real, pela embarcação de serviço, através do computador de bordo, assistido pelo sistema de navegação.

Foram executados tanto os levantamentos batimétricos no rio Juqueriquerê quanto na zona costeira adjacente. No total, foram cerca de 22 km lineares de aquisição de dados no rio, no trecho, entre a ponte Dr. Manoel Hipólito do Rego e o mar, e 105 km na zona costeira.

Imagens das configurações do sistema de aquisição de dados para os dois levantamentos são mostradas na Figura 3.6.a para o levantamento no rio, e Figura 3.6.b, para o levantamento no mar.

Figura 3.6.a: Disposição do sistema de aquisição instalado na embarcação utilizada na execução do levantamento batimétrico no rio Juqueriquerê.

Para a batimetria do Rio Juqueriquerê, as linhas de navegação foram planejadas com espaçamento de 10 m entre as regulares e 200 m entre as transversais.

Porém, é necessário ressaltar que a navegação foi extremamente limitada nesta área.

É também importante salientar que as linhas regulares foram executadas ao longo do eixo longitudinal do rio, justamente em função da limitação da navegação nesta área.

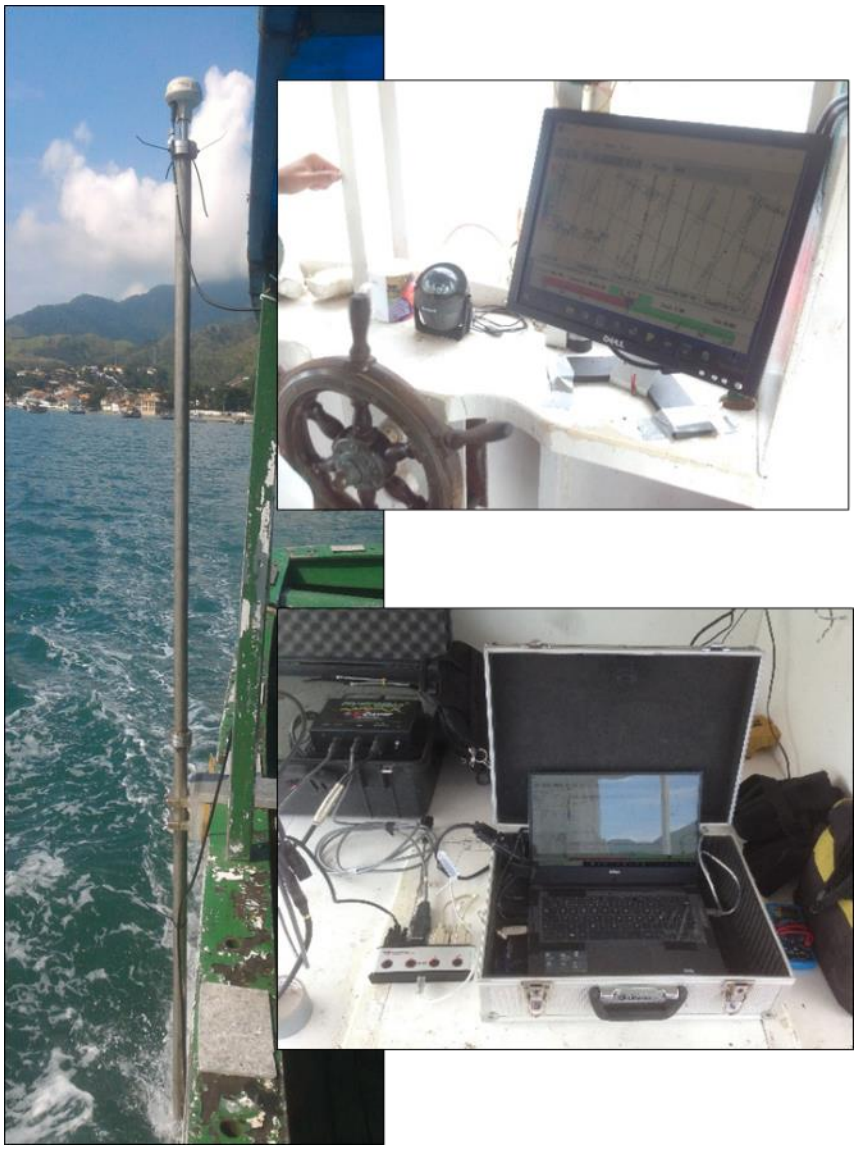


Figura 3.6.b: Disposição do sistema de aquisição na embarcação utilizada na execução da batimetria na zona costeira próxima à foz do Rio Juqueriquerê.

O levantamento marinho contou com linhas regulares espaçadas em 100 m e linhas de verificação a cada 500 m. A cobertura pelo levantamento batimétrico marinho foi limitada pela linha de costa e pela pequena profundidade, de forma que durante a aquisição de dados tentou-se a máxima aproximação da costa, zelando pela segurança da equipe e tripulação, bem como pela qualidade dos dados.

A relação dos equipamentos e dos softwares utilizados no levantamento batimétrico no Rio Juqueriquerê e sua região marinha adjacente encontra-se na Tabela 3.6-1:

Tabela 3.6-1: Relação dos equipamentos utilizados no levantamento batimétrico

MODELO	FABRICANTE	DESCRIÇÃO
Hydrobox	Syqwest	Ecobatímetro monofeixe de dupla frequência
Smart V1	Novatel	GPS diferencial

SOFTWARE	DESENVOLVEDOR	DESCRIÇÃO
Hypack	Hypack	Navegação, aquisição e processamento de dados de batimetria.
QGIS	GNU (vários colaboradores)	Análise espacial dos dados e produção de mapas

Os dados obtidos no levantamento batimétricos foram trabalhados para gerar uma base única de dados, referenciados ao nível de redução de sondagem da DHN. As respectivas profundidades foram referenciadas através de observação direta de uma régua de maré e as fases de redução de dados a referenciais (datum) únicos para topografia praial e batimentria foram realizadas. O maregrama obtido a partir das observações da régua foi nivelado ao marco oficial da DHN, servindo de base para a redução da maré para o nível de referência (NR) da DHN para a área de estudo.

Esta base de dados foi utilizada como condição de contorno para o desenvolvimento das modelagens hidrodinâmicas e morfológicas para a avaliação do transporte de sedimentos e padrões de sedimentação e erosão na região, em função das possíveis configurações dos enrocamentos estudadas.

A partir dos resultados do levantamento foram gerados arquivos .txt contendo posição e profundidade (X, Y, Z) para todo o trecho sondado e cartas batimétricas. Nas Figuras 3.6.c a 3.6.h, são apresentados os resultados dos levantamentos batimétricos ao longo da extensão do Rio Juqueriquerê. Já na Figura 3.6.i pode-se observar a batimetria levantada para a região costeira adjacente a este rio. As figuras 3.6.j e 3.6.k apresentam a batimetria integrada do rio e região costeira, em perspectiva, no software Google Earth.

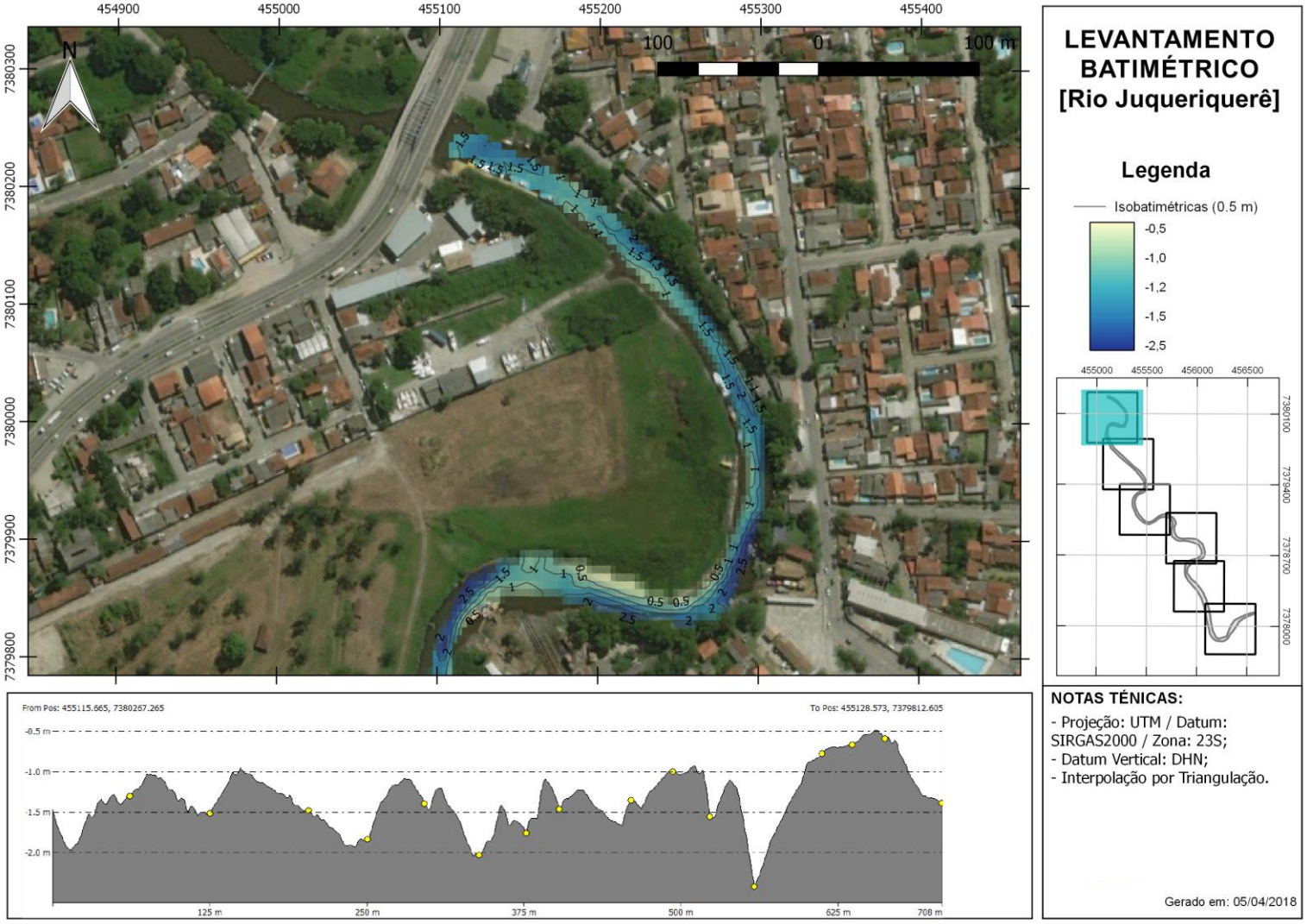


Figura 3.6.c – Trecho do Levantamento batimétrico realizado no Rio Juqueriquerê. Folha 1 de 6.

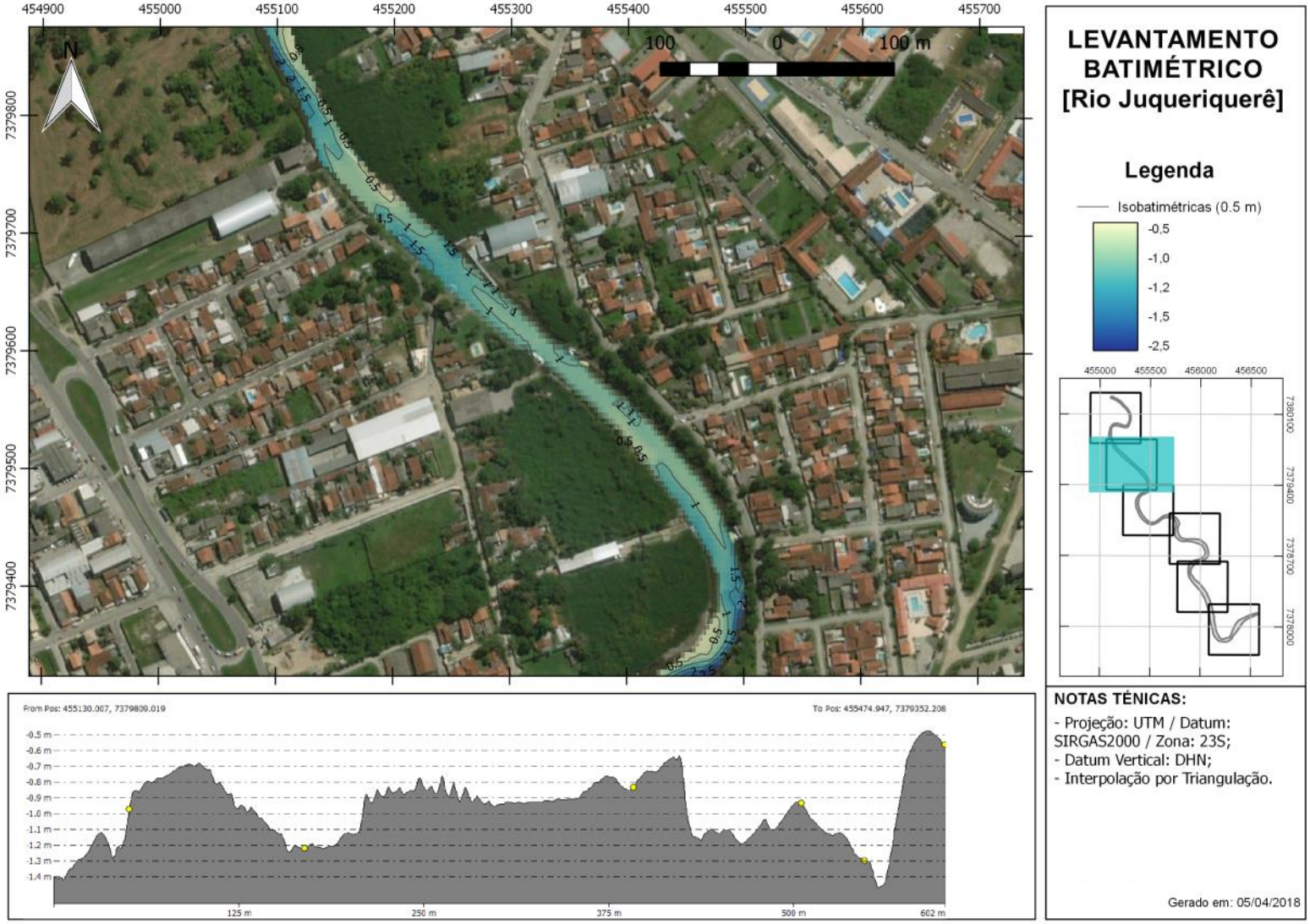


Figura 3.6.d – Trecho do Levantamento batimétrico realizado no Rio Juqueriquerê. Folha 2 de 6.

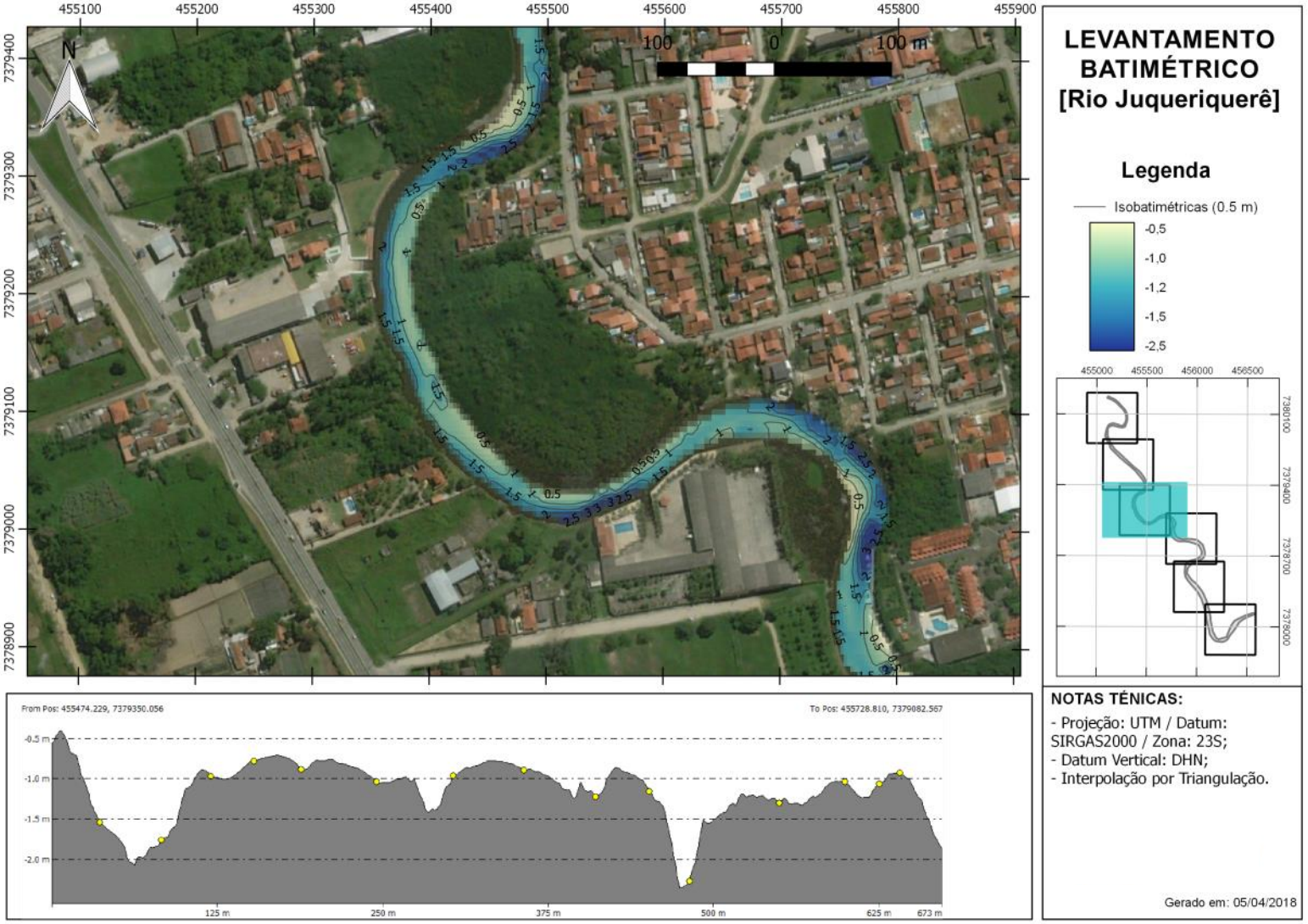


Figura 3.6.e – Trecho do Levantamento batimétrico realizado no Rio Juqueriquerê. Folha 3 de 6.

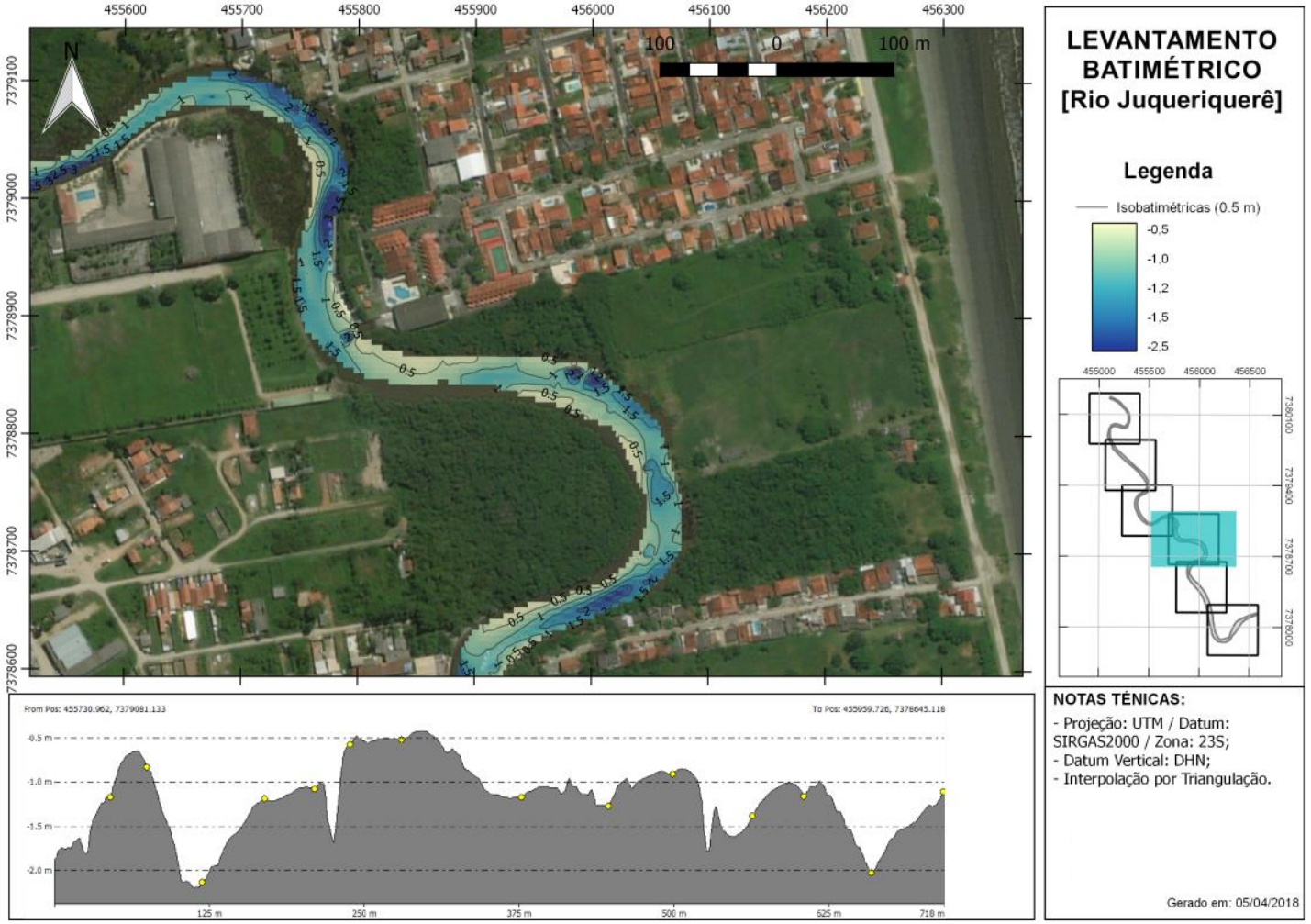


Figura 3.6.f – Trecho do Levantamento batimétrico realizado no Rio Juqueriquerê. Folha 4 de 6.

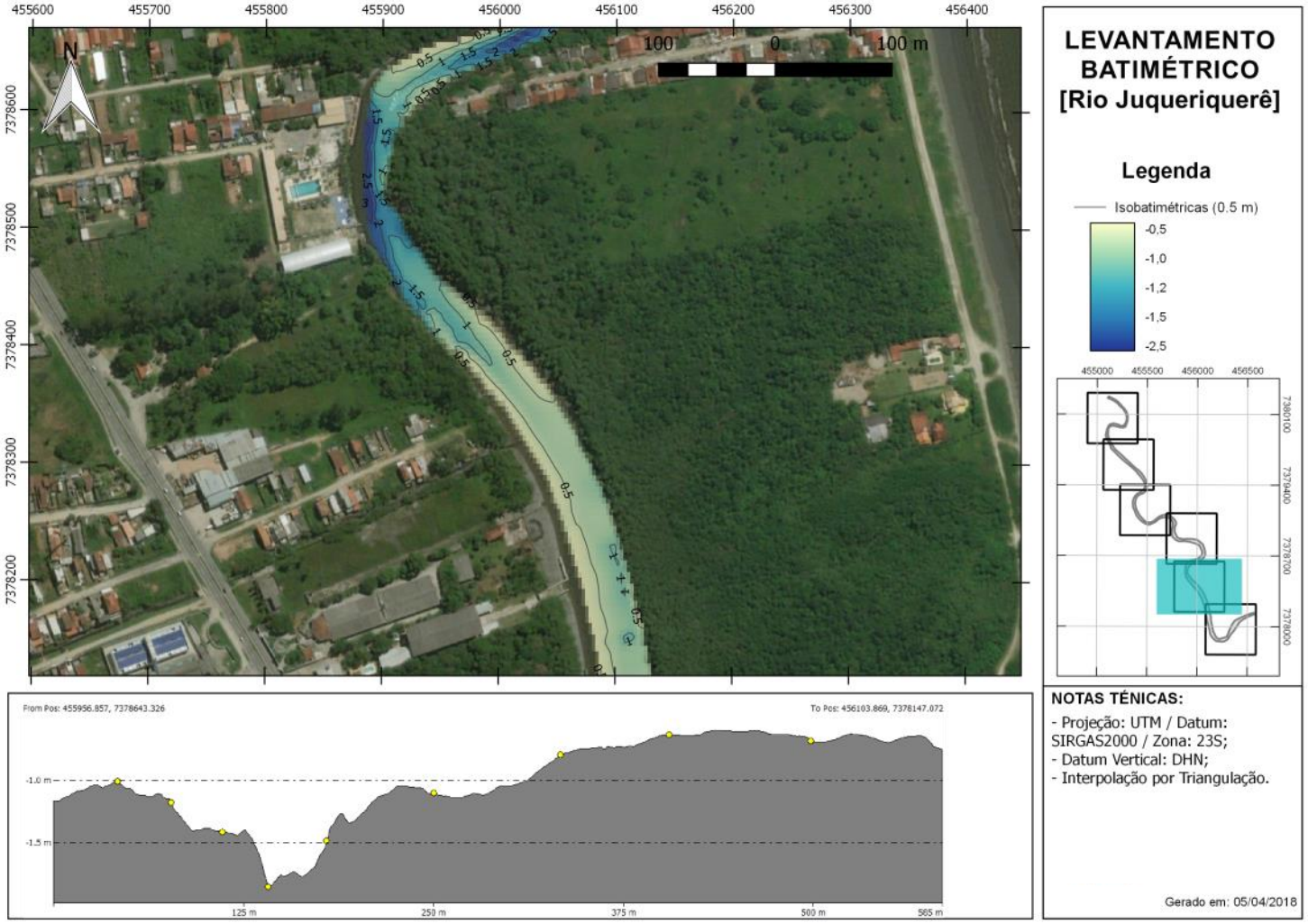


Figura 3.6.g – Trecho do Levantamento batimétrico realizado no Rio Juqueriquerê. Folha 5 de 6.

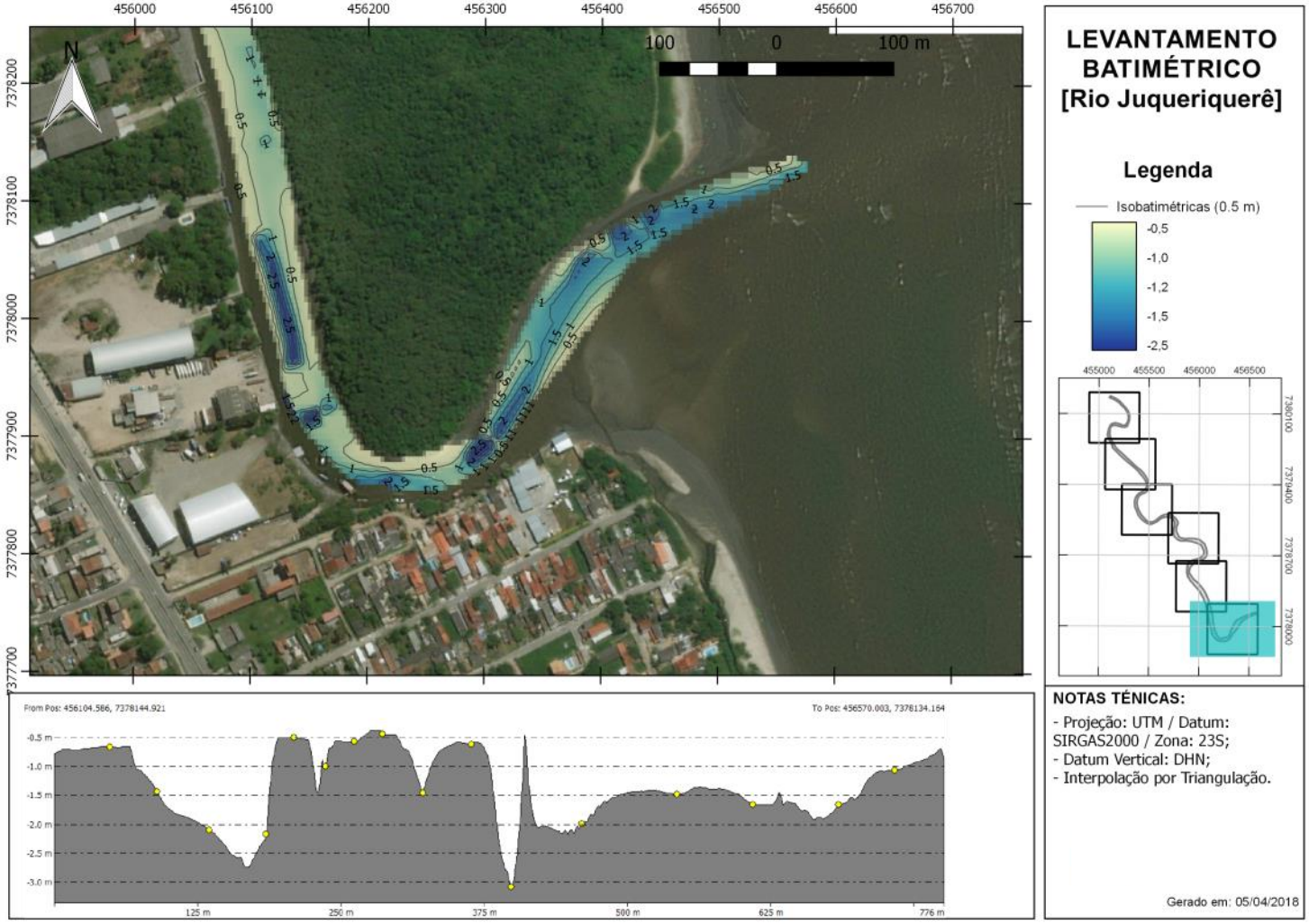


Figura 3.6.h – Trecho do Levantamento batimétrico realizado no Rio Juqueriquerê. Folha 6 de 6.

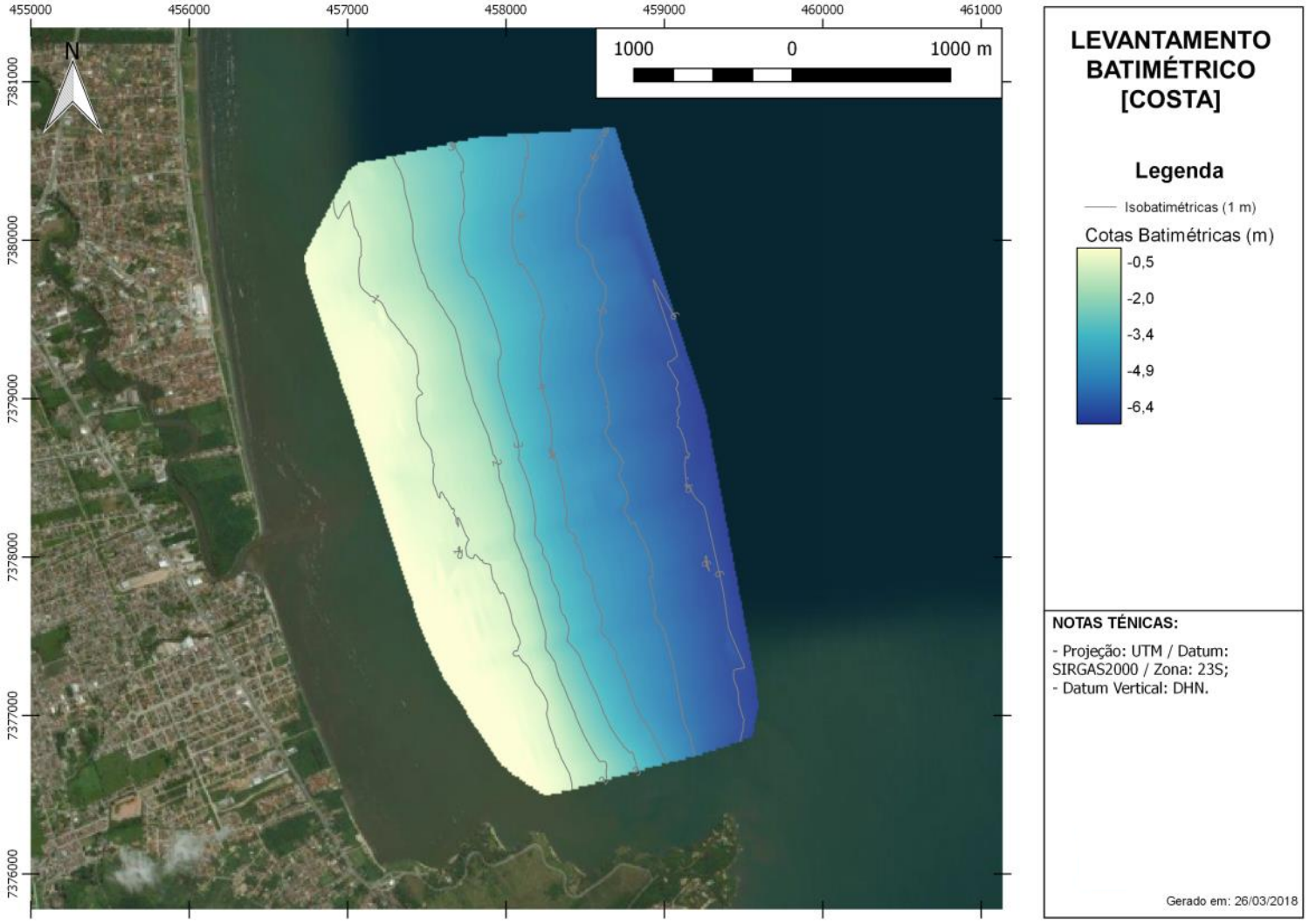


Figura 3.6.i – Trecho do Levantamento batimétrico realizado na região costeira adjacente.

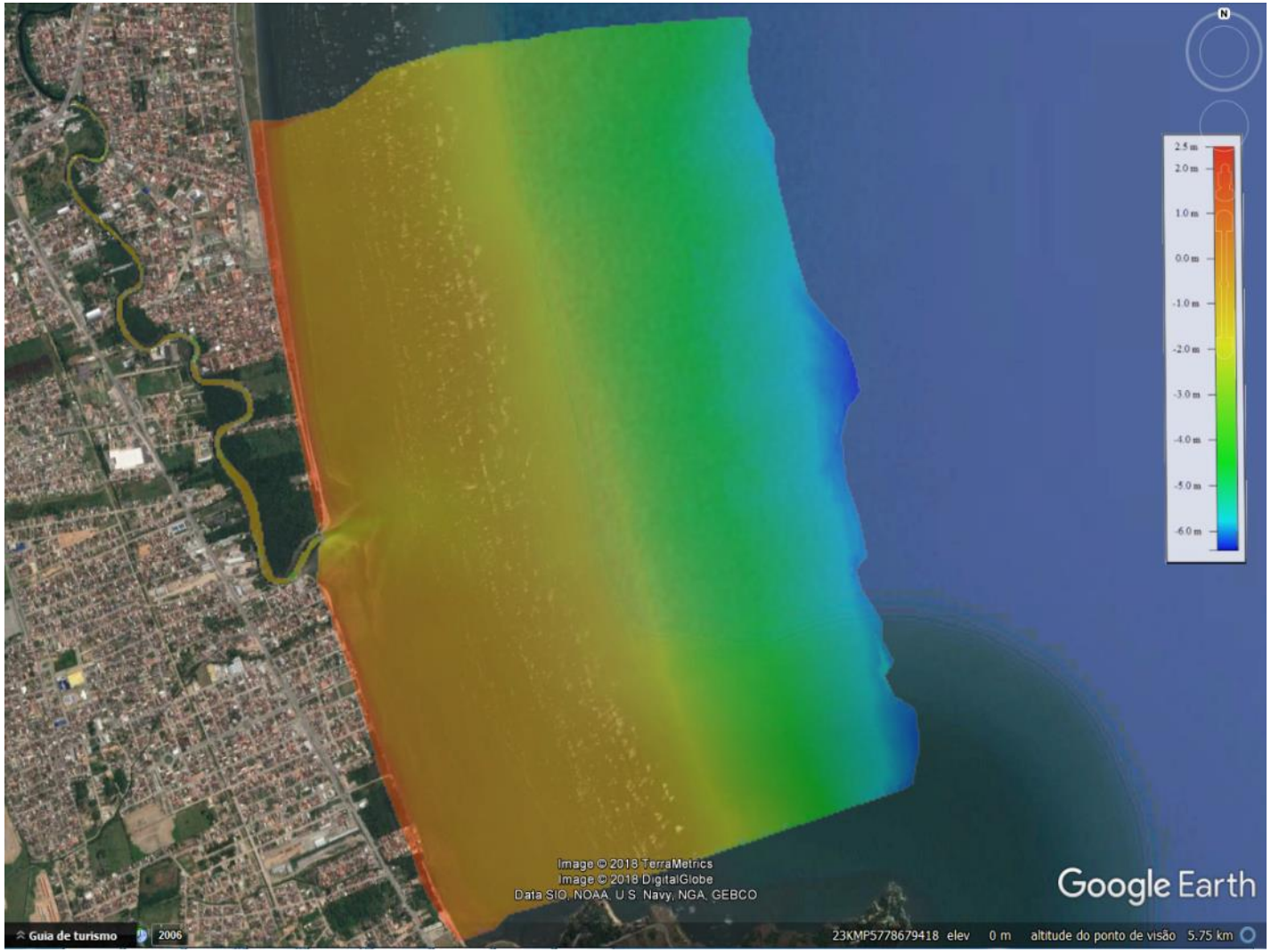


Figura 3.6.j – Representação da batimetria interpolada do rio e área costeira adjacente.

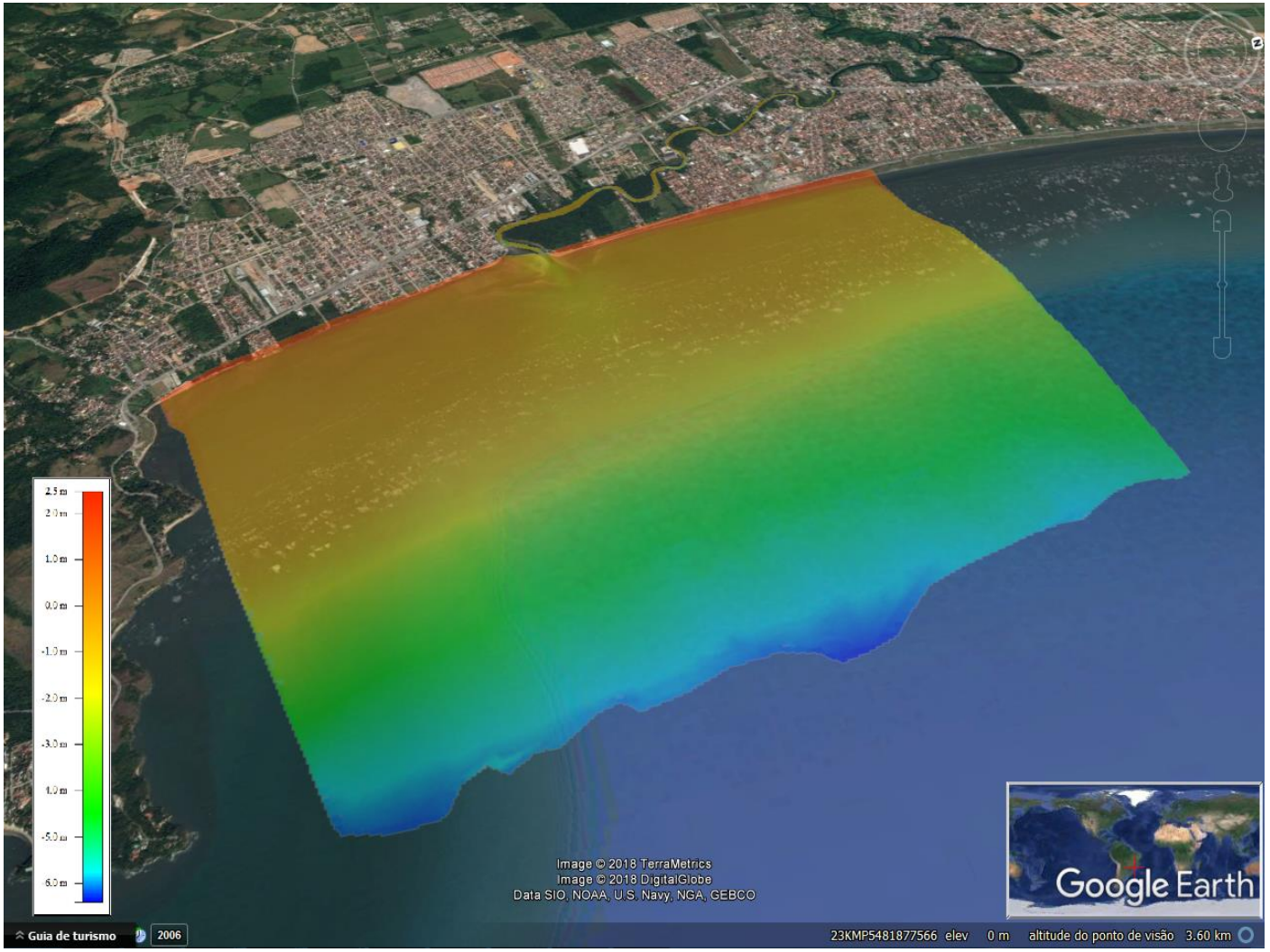


Figura 3.6.k – Visão em outra perspectiva da interpolação da batimetria do rio e área costeira adjacente.

3.6.1. Refinamento do Levantamento Batimétrico

Após avaliação dos dados da batimetria, ao se avaliar o mapa gerado, julgou adequado realizar uma etapa de refinamento do levantamento de campo na foz do Rio Juqueriquerê, em complementação ao levantamento batimétrico realizado.

Conforme relatos de alguns pescadores, os mesmos acreditavam que o canal de navegação se prolongava no mar por uma distância maior do que havia sido encontrada no levantamento anterior.

Dessa forma, por considerar um trecho de grande importância no estudo, decidiu-se fazer uma nova etapa de campo, realizada em 14/06/2018, com execução de levantamento batimétrico de modo a identificar sua extensão e direção com maiores detalhes. Os dados dessa complementação (figura 3.6.1) serão incorporados ao estudo. Puderam ser identificadas pequenas variações de profundidade do canal.

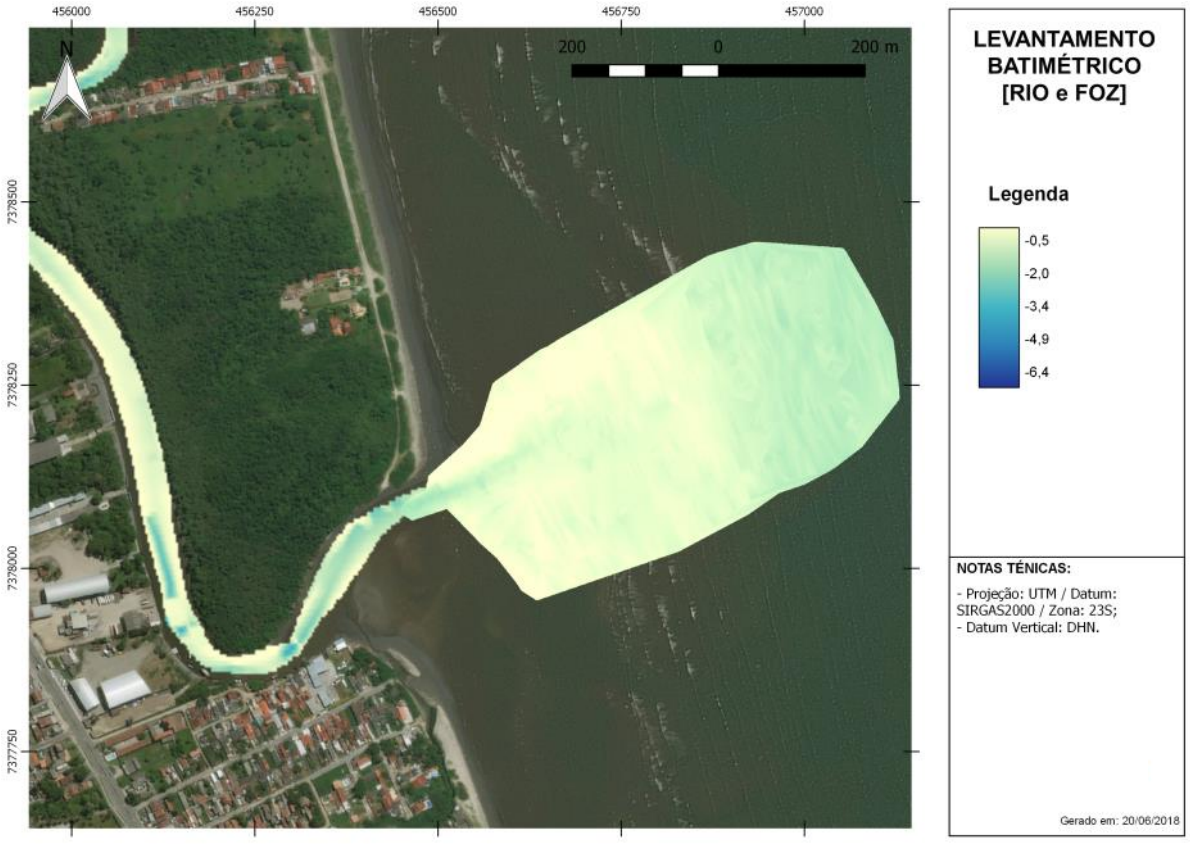


Figura 3.6.1. Refinamento da batimetria realizado na foz do Rio Juqueriquerê

3.7. Dados Oceanográficos

Nesta etapa foi prevista a realização de levantamento de dados primários a partir da medição das correntes, ondas e marés.

Tais dados visam subsidiar os modelos numéricos com validações reais necessárias à sua implementação.

O grande interesse em caracterizar o nível do mar dentro da simulação numérica está relacionado às suas flutuações, que resultam em modificações nas condições de contorno nas quais se propagam as ondas. Estas modificações mudam o perfil da praia e seu entorno, alterando por sua vez, o padrão das alturas das ondas incidentes.

O objetivo desta fase é a determinação dos padrões de ondas, correntes e do regime de marés típicos na área de estudo. Uma vez estabelecidos, servirão para validar os campos implementados na elaboração da modelagem das ondas, circulação e de transporte de sedimentos que será conduzido.

Assim, com o objetivo de obter informações sobre a circulação hidrodinâmica e padrão de propagação de ondas, no dia 23 de janeiro de 2018 foi realizado o fundeio de um perfilador acústico de correntes (ADCP) da marca Teledyne RDInstruments, modelo Workhorse Sentinel, dotado de sistema Waves Array® (Figura 3.7-1), para medições direcionais de onda, além de sensores de temperatura e pressão. A região de aquisição de dados oceanográficos é a zona costeira situada ao largo da foz do Rio Juqueriquerê, próximo à isóbata de 5 metros.

Figura 3.7-1: Perfilador acústico de corrente (ADCP).

O sistema de fundeio utilizado consiste em uma estrutura principal confeccionada em aço inox, de formato piramidal, onde são fixados os equipamentos. O ADCP é acoplado a um gimbal fabricado em nylon para garantia da posição vertical do equipamento, mesmo quando a superfície de fundo possui alguma inclinação.

À estrutura principal, foram presas duas poitas de concreto, via cabo, posteriormente esticado junto ao fundo. Isto serve tanto para dificultar possíveis arrastos como para auxiliar na localização do fundeio através do reboque de uma garatéia, pela embarcação de resgate. Em uma das poitas, foi atada uma boia para sinalização do fundeio (Figura 3.7-2).

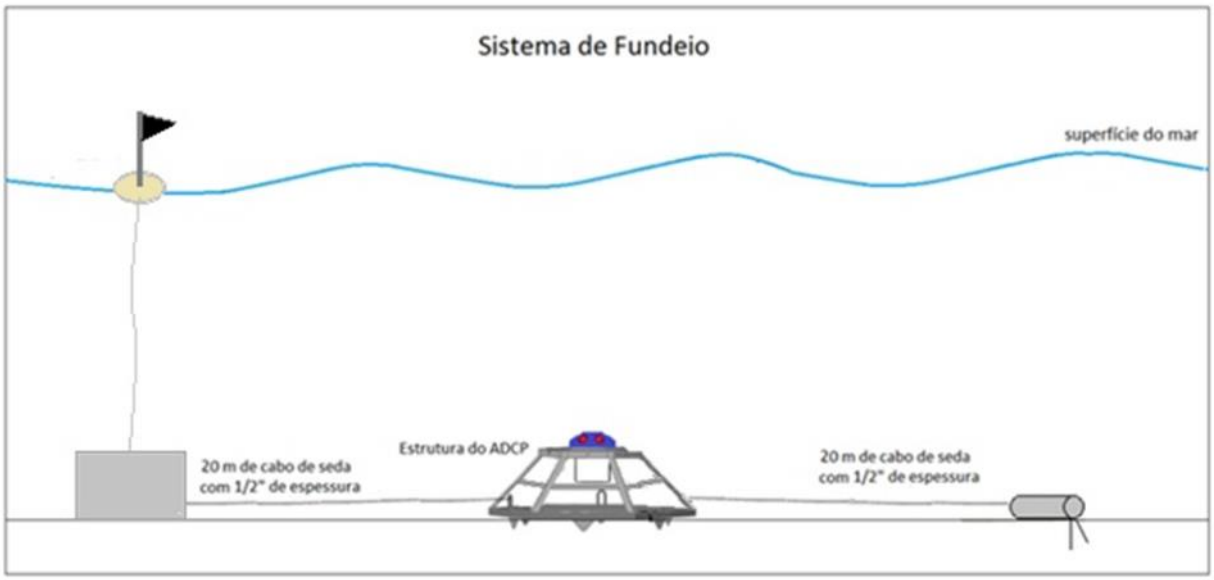


Figura 3.7-2: Croquí esquemático do sistema de fundeio

O fundeio foi realizado nas coordenadas 458485 E 7377698 N (SIRGAS 2000), com apoio de mergulho profissional e embarcação de bom porte alugada no rio Juqueriquerê (Figura 3.7-3 e 3.7-4).

Figura 3.7-3: Embarcação de apoio utilizada no fundeio do ADCP

O equipamento foi configurado para fazer medição de corrente com intervalo de 15 minutos, com a primeira célula de medição distando 1,0 m do ADCP e as demais células a cada 0,5 metro de profundidade, e dados de onda com intervalo de 1 hora, estando no mar em aquisição de dados até o fechamento deste relatório.

Figura 3.7-4: Equipamento acoplado à estrutura principal do fundeio e disposto sobre o fundo.

A campanha de recuperação do fundeio ocorreu no dia 23/02/2018, no período da manhã, 31 dias após a operação de instalação. O resgate foi feito por meio de mergulho autônomo, utilizando-se da técnica de busca circular, uma vez que o fundeio não foi localizado próximo à boia de sinalização, em uma primeira tentativa.

Após a busca circular, foi constatado que a estrutura principal do fundeio encontrava-se virada, com o ADCP virado para baixo, em direção ao assoalho marinho.

Após uma primeira análise dos dados extraídos do equipamento, notou-se a ocorrência de uma repentina mudança nos valores de inclinação no instante correspondente ao dia 18/02/2018 às 15:00 h.

A figura 3.7-5 abaixo mostra a série temporal dos sensores de inclinação e orientação, mostrando a alteração nos valores de caturro (*pitch*), adernagem (*roll*) e azimute (*heading*). Cabe ressaltar que as alterações de valores no início da série referem-se ao período em que o equipamento ainda estava fora da água.

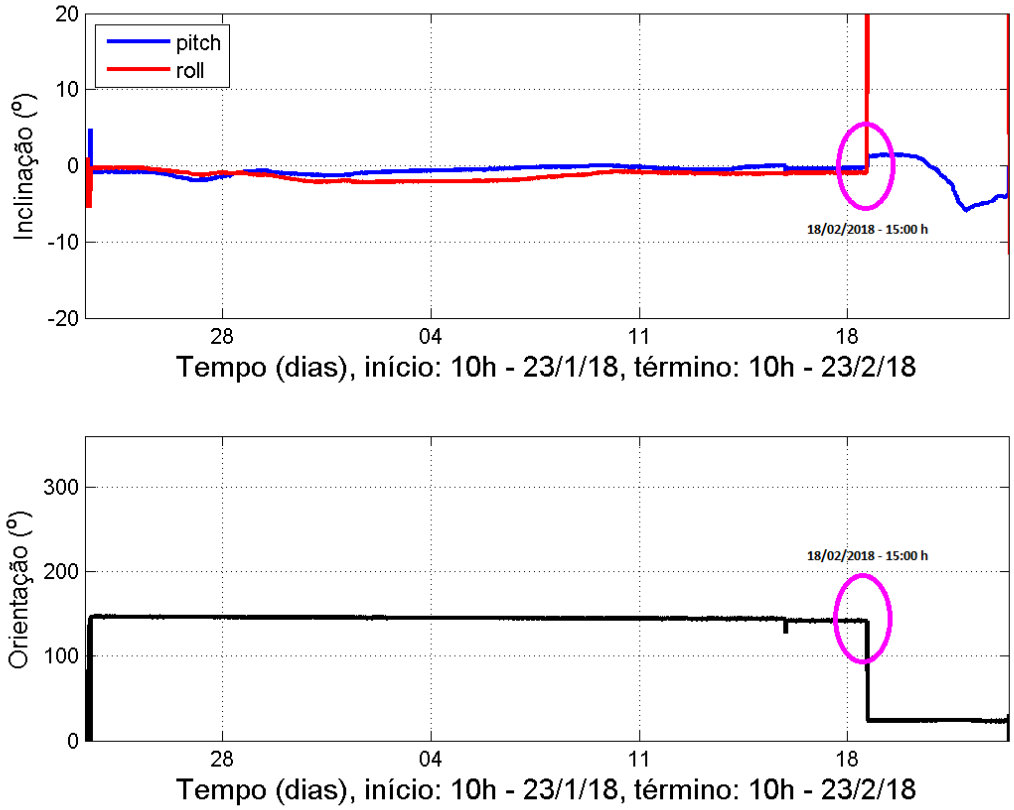


Figura 3.7-5: Série temporal evidenciando a inclinação do ADCP.

Muito provavelmente estas alterações tenham ocorrido em função de arrasto por alguma embarcação de pesca de camarão, mesmo que em região proibida para a atividade, acarretando tanto em alteração da posição do fundeio, como também no tombamento do mesmo. Desta forma, as análises referentes aos dados obtidos pelo ADCP ficarão restritas ao período anterior à ocorrência do provável arrasto.

O período de aquisição com dados válidos compreendeu um intervalo de 26 dias consecutivos, praticamente completando um ciclo lunar completo, com a representação da variabilidade de amplitude de elevação de maré de períodos de

quadratura e sizígia. Ressalta-se assim que o período amostrado é plenamente suficiente para a validação das modelagens hidrodinâmicas e de propagação de ondas, fornecendo uma base de dados consistente para a avaliação dos padrões ambientais locais para o período de verão.

Todavia, com o objetivo de demostrar a representatividade do período de dados coletados (26 dias) dentro de um ciclo de maré, foi utilizada uma outra série temporal de correntes (pertencente ao banco de dados desta equipe) obtida na região, na profundidade de 10 m e para o período de dezembro de 2001 a março de 2002, utilizando-se um correntógrafo Falmouth modelo FSI 2DACM.

O Método de análise utilizado é o Método de Análise Harmônica de Marés de Schuremann (1958). Segundo Pugh (1996) este método pode ser aplicado a uma série de qualquer tamanho. Segundo Foreman (1979), “com um registro de duração de um mês, o sistema de equações a ser resolvido (pelo Método de Análise Harmônica) é substancialmente sobredeterminado e não há dificuldade em adicionar constituintes menores, se desejado”.

Nas Figura 3.7.6 e 3.7.7 a seguir são apresentadas a mesma série temporal de correntes, pertencente ao banco de dados, com duração de 26 dias e 30 dias respectivamente.

Já as Figura 3.7.8 e 3.7.9 mostram os gráficos de densidade espectral de energia calculada para a série temporal de observações (curva preta) e para a previsão harmônica (curva vermelha). Na Figura 3.7.8 são mostrados os espectros para a duração de 26 dias e na Figura 3.7.9 para 30 dias. Os espectros correspondem à intensidade do vetor velocidade de corrente.

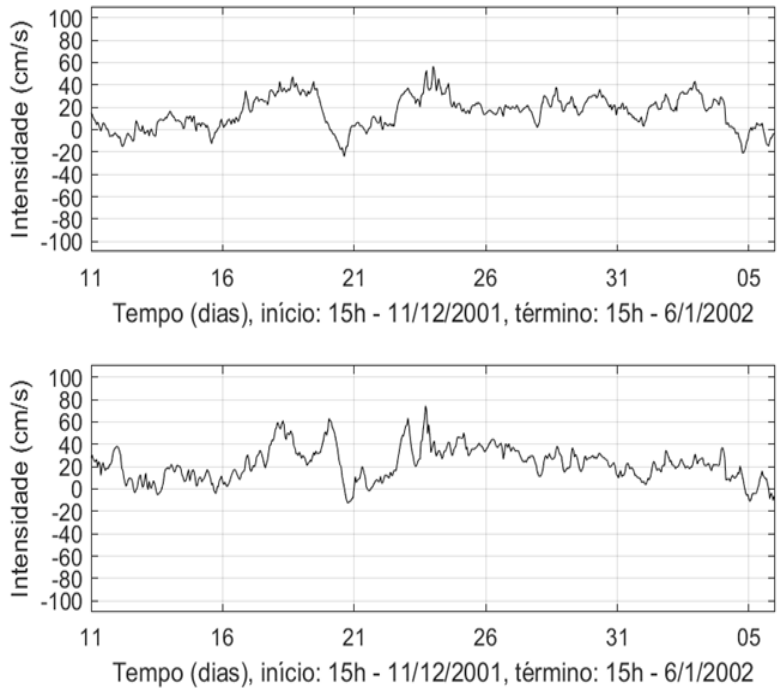


Figura 2.7.6 - Dados de corrente do banco de dados, duração de 26 dias. Componente E-O (quadro superior) e N-S (quadro inferior).

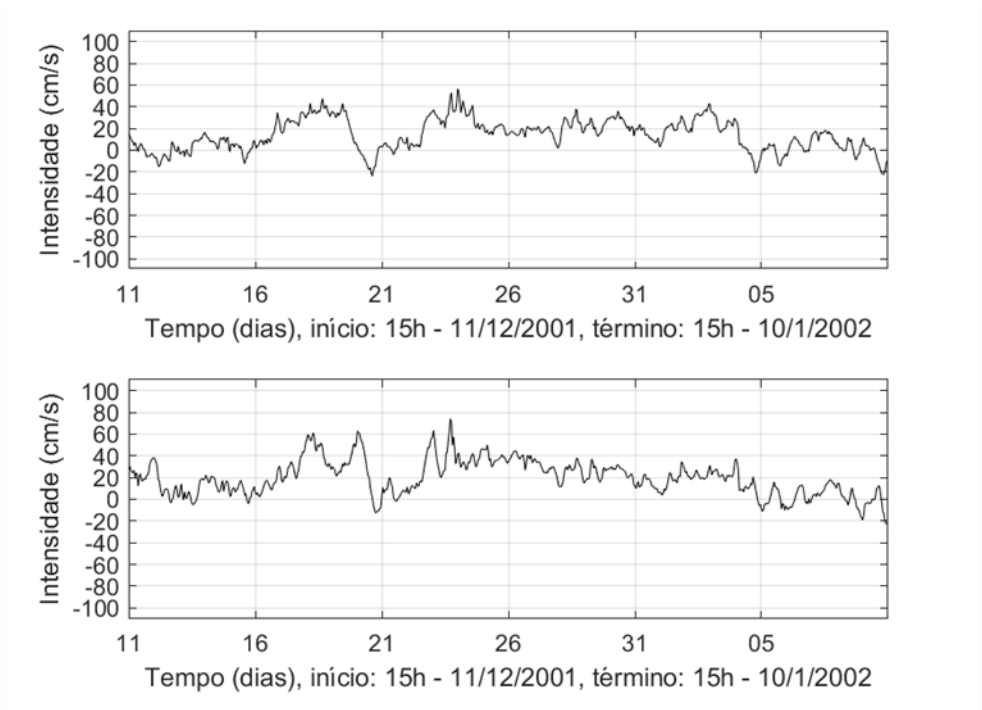


Figura 3.7.7 - O mesmo dado de correntes da Figura 2, mas com 4 dias a mais, duração de 30 dias. Componente E-O (quadro superior) e N-S (quadro inferior).

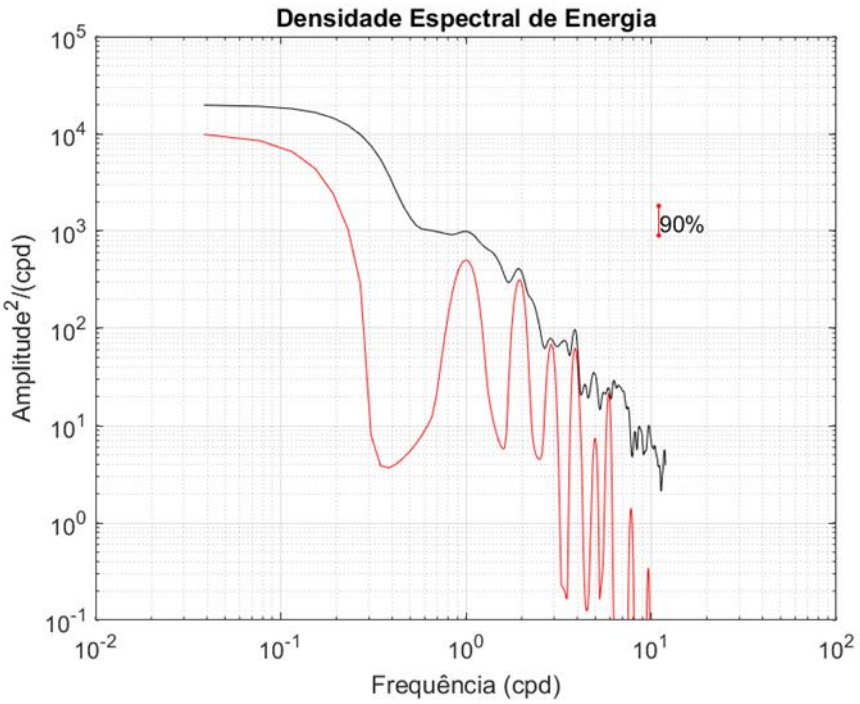


Figura 3.7.8 - Densidade espectral de energia calculados para a série original (preta) e previsão (vermelha) ambos com 26 dias.

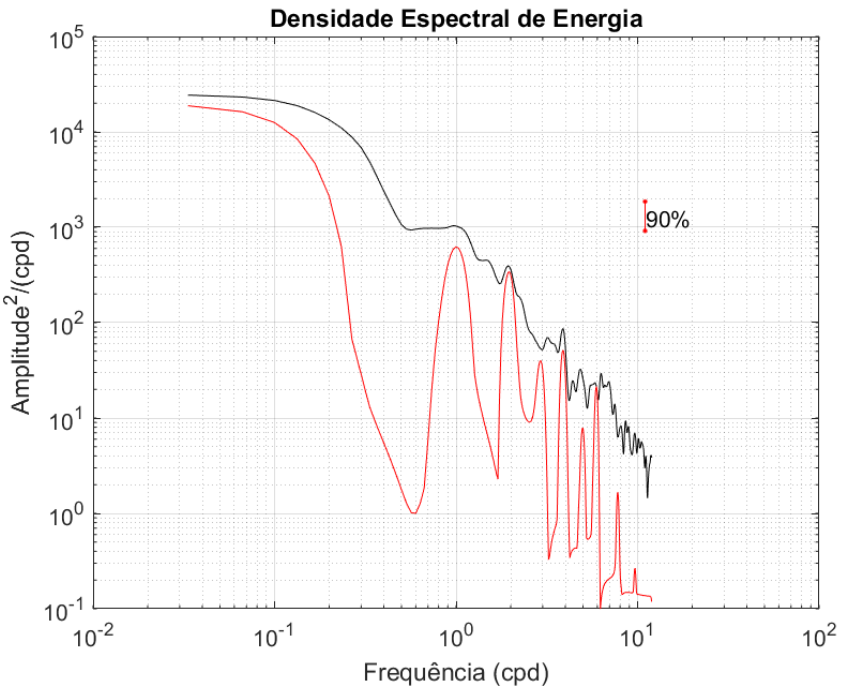


Figura 3.7.9 - Densidade espectral de energia calculados para a série original (preta) e previsão (vermelha) ambos com 30 dias.

Na Figura 3.7.10 abaixo é apresentada uma comparação entre a série original (azul) (componente E-O no quadro superior e N-S no quadro inferior) e as previsões de 30 dias (vermelha) e 26 dias (preta).

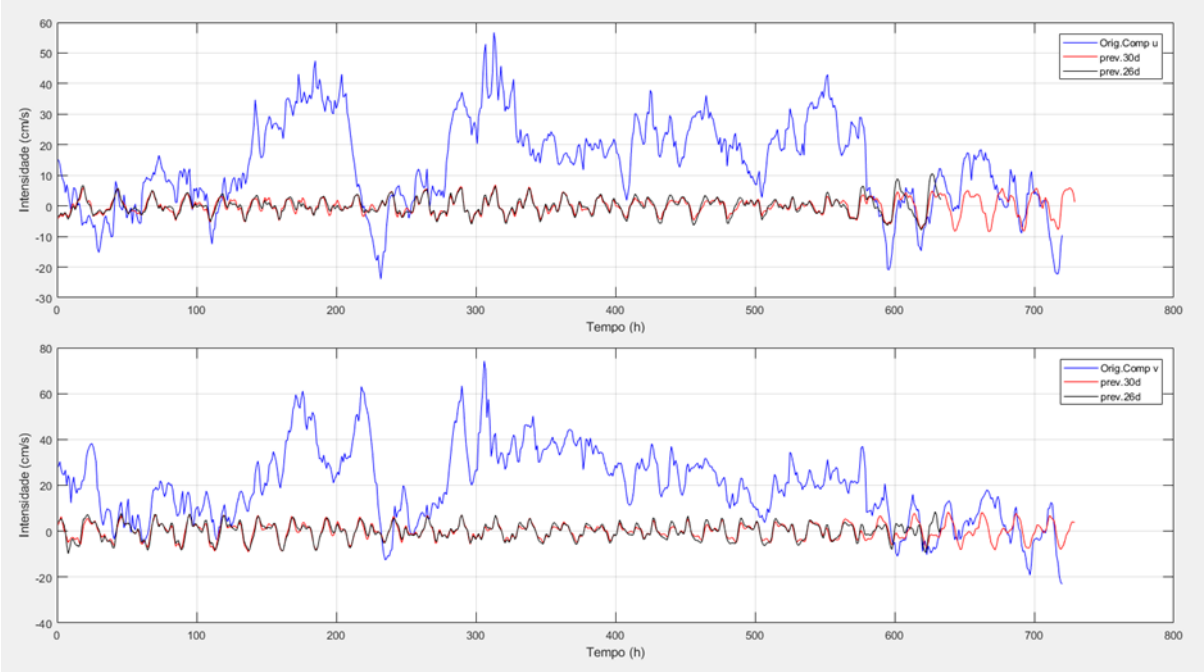


Figura 3.7.10 - Séries temporais das componentes do vetor velocidade. Série original (azul) e previsão 30d (vermelha) e previsão 26 dias (preta).

Esta análise mostra que a previsão harmônica feita com harmônicos calculados a partir de uma série com duração de 26 dias é muito próxima daquela feita a partir de harmônicos estimados com uma série com 30 dias. Com isso, é possível afirmar que o período levantado de 26 dias é suficiente para ser utilizado no processo de validação da modelagem numérica.

3.7.1 Temperatura

A distribuição térmica superficial do oceano decresce de valores elevados no equador até temperaturas próximas a zero em regiões polares. A região de interesse encontra-se próxima ao limite das latitudes tropicais do Oceano Atlântico Sul. Nesta porção do globo, a temperatura da camada superficial varia sazonalmente.

Durante o verão (períodos de Dezembro a Fevereiro no hemisfério sul, e períodos de Junho a Agosto no hemisfério norte), devido à maior intensidade da radiação solar, as águas superficiais se tornam mais aquecidas, gerando uma termoclina mais acentuada, porém de menor espessura. Nos meses de inverno (períodos de Junho a Agosto no hemisfério sul, e períodos de Dezembro a Fevereiro no hemisfério norte), essa termoclina sazonal perde intensidade devido à menor incidência de radiação solar, o que possibilita que a mistura na água ocorra em camadas mais profundas do que durante o verão.

A Figura 3.7.1.a apresenta a variação temporal da temperatura da água do mar próximo ao fundo durante o levantamento dos dados do fundeio oceanográfico.

As temperaturas mínimas obtidas ficaram em torno de 25,6°C e as máximas em torno de 29°C. O decaimento da temperatura da água do mar observado a partir do dia 29/01/2018 pode estar relacionado à passagem de um sistema frontal (frente fria) sobre a região de estudo.

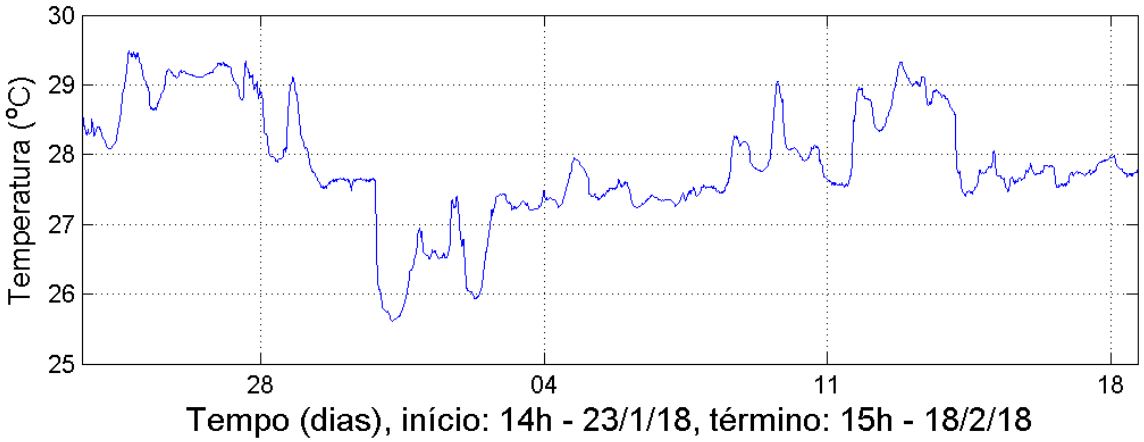


Figura 3.7.1.a: Série temporal de temperatura.

3.7.2 Elevação (Maré)

A seguir são apresentadas as análises de dados de elevação do nível do mar no ponto de fundeio. As medidas de pressão, convertidas para profundidade, fornecem o padrão de variação da superfície do mar.

A Figura 3.7.2.a mostra a série temporal de elevação da superfície do mar, enquanto a Figura 3.7.2.b apresenta o espectro de amplitudes de elevação em ciclos por dia (cpd) para o período de 23 de janeiro a 18 de fevereiro de 2018.

Na Figura 3.7.2.a pode-se observar diferentes ciclos de oscilação da elevação marinha (linha azul) relacionados principalmente ao comportamento da maré astronômica. São observadas amplitudes inferiores a 0,25 m entre 04/02 até aproximadamente 11/02. A partir desta data são encontradas amplitudes superiores a 0,5 m que garantem alturas de onda de maré superiores a 1 m (como exemplo, dia 18/02). Esse comportamento configura os períodos de maré de quadratura e de sizígia, respectivamente, que respondem às forçantes astronômicas.

É possível, ainda, observar uma importante contribuição de oscilações de baixa frequência no nível médio (linha vermelha). Esta oscilação pode ser associada tanto a efeitos atmosféricos (maré meteorológica) como ao efeito de ressonância devido à interação do corpo aquoso com a configuração geométrica da fisiografia e da topografia de fundo a região de estudo. Assim, podem-se observar ao longo do período oscilações da ordem de até 0,25 m de amplitude.

A combinação das oscilações ocorridas devido às forçantes astronômicas e meteorológicas garantem variações da elevação da superfície do mar de até 1,5 m.

Na Figura 3.7.2.b, pode-se observar a predominância de diferentes frequências de oscilação, sendo 2, 1 e inferiores à 1 cpd. Essas variações confirmam a predominância das componentes harmônicas semidiurnas (2 cpd) e diurnas (1cpd), bem como as oscilações de baixa frequências (inferiores a 1 cpd), conforme discutido anteriormente.

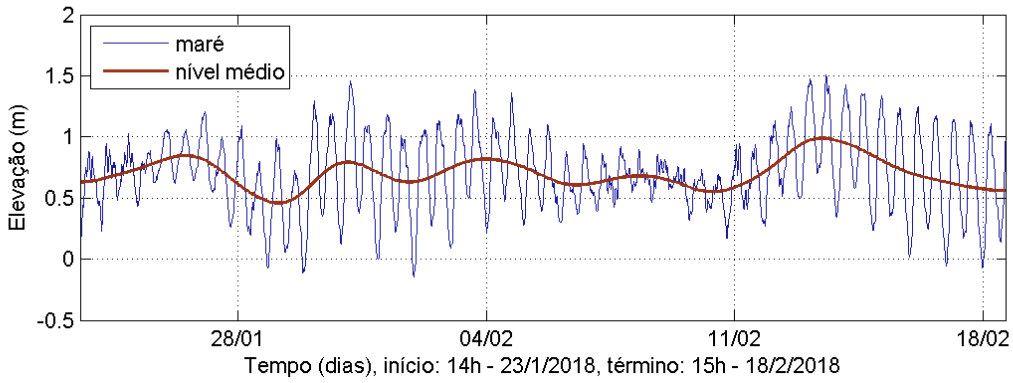


Figura 3.7.2.a: Série temporal de elevação da superfície marinha (Maré).

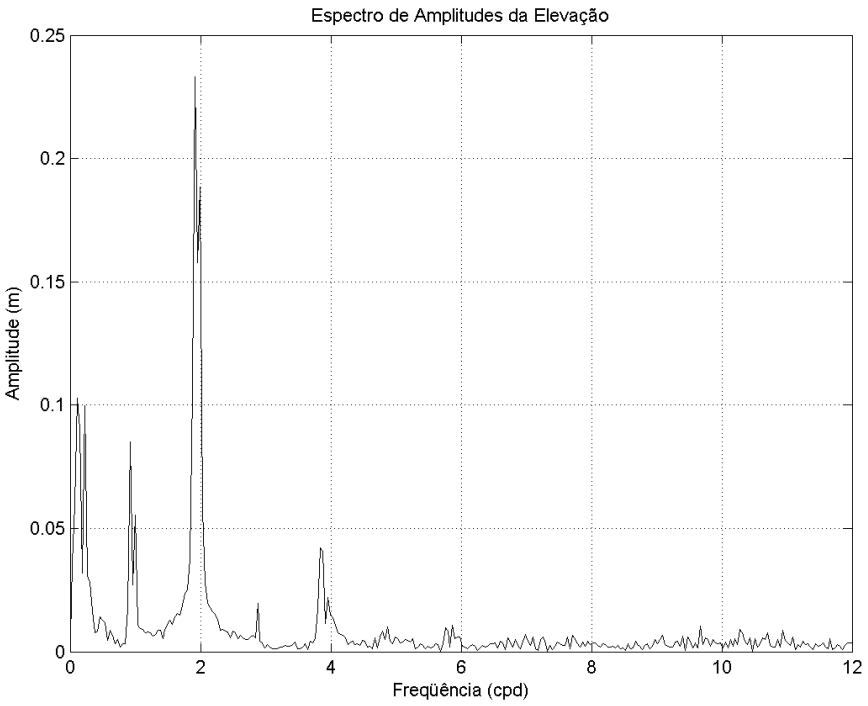


Figura 3.7.2.b: Espectro de amplitudes de elevação.

3.7.3 Ondas

As ondas são manifestações de forças atuantes em um fluído, tendendo a deformá-lo contra a ação da gravidade e a tensão superficial, que juntas agem para manter o nível da superfície do meio (DEAN & DALRYMPLE, 1991). Essa deformação requer alguma força para gerá-la, podendo ser vento, perturbações meteorológicas, terremotos, atração planetária, entre outras coisas. Uma vez que as ondas são criadas, a força gravitacional e a tensão superficial permitem que elas se propaguem.

A variação no tempo dos mecanismos forçantes das ondas (direção, intensidade e duração do vento) são variáveis aleatórias, e é por isso que os estudos relacionados a este tema requerem uma série de análises que representem os regimes médios escalares e direcionais dos parâmetros dos estados de mar: Altura significativa de onda (Hs) e período de pico (Tp).

Segundo Candella (1997), as principais ondas presentes no Atlântico Sul são geradas nas médias e altas latitudes, por tempestades originadas nos centros de baixa pressão que vêm da Antártica, associados às frentes frias. As condições atmosféricas no Atlântico Sul, especialmente nas latitudes menores que 40º S, não são tão severas quanto no mar do Norte ou mesmo no Pacífico, onde ocorrem grandes tempestades e furacões.

O que caracteriza o clima de ondas em uma região são os ventos originados no oceano. No Atlântico Sul estes ventos são controlados por sistemas atmosféricos, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), localizada proximo ao Equador e responsável pelos ventos alísios; a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), centro de alta pressão semi-permanente sobre o oceano com circulação anti-ciclônica; ciclones migratórios e, próximo à costa, por fenômenos de menor escala como a circulação de brisas.

Os resultados das medições de onda realizadas no para o período do fundeio (23 de janeiro a 18 de fevereiro de 2018) está apresentado na Figura 3.7.3.a. Esta figura apresenta as séries temporais dos parâmetros comumente utilizados para caracterização dos padrões de propagação de ondas: altura significativa de onda (Hs), direção pico (Dp) e período de pico (Tp).

Observa-se que a maior altura significativa medida foi de 0,6 metros. No entanto, na maior parte do tempo, os valores ficam inferiores a 0,3 metros.

A direção de pico indica que a incidência de ondas fica praticamente entre as direções 45° e 100°, condizente com a orientação da linha de costa da área de estudo. O período de pico, por sua vez, tem uma variação significativa apresentando, na maior parte do tempo, valores próximos de 8 segundos.

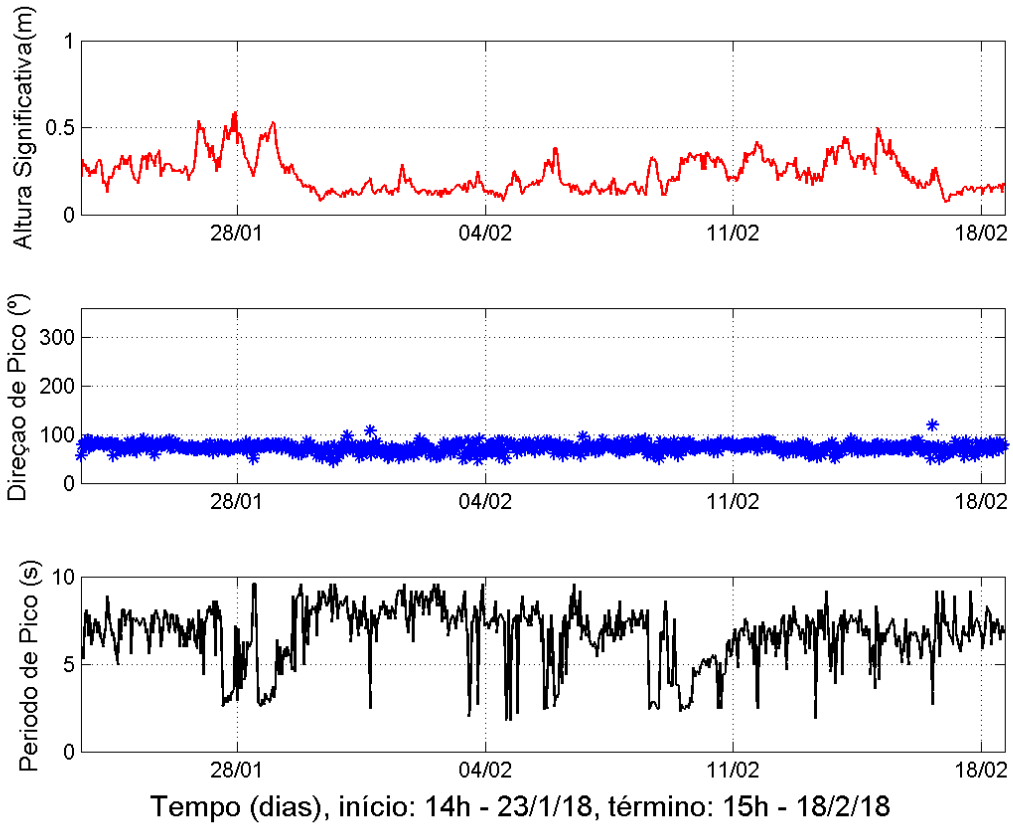


Figura 3.7.3.a: Série temporal de altura significativa, direção de pico e período de pico no ponto de fundeio entre 23 de janeiro e 18 de fevereiro de 2018.

As Figura 3.7.3.b e Figura 3.7.3.c apresentam a rosa direcional de altura significativa e período de pico, respectivamente, onde as direções referem-se à incidência das ondas (seguindo a convenção meteorológica, portanto indicando a direção de origem), a distância radial representa a frequência de ocorrência (%) e a

escala de cores indica a magnitude da altura significativa em metros e do período de pico em segundos.

A Tabela 3.7.3.a mostra a distribuição de ocorrência conjunta de altura significativa e direção das ondas e a Tabela 3.7.3.b a distribuição de ocorrência conjunta do período de pico e direção das ondas.

Em todo o período, as ondas de ENE (68,8 %) e E (25,6%) foram as ondas mais frequentes que incidiram sobre o ponto de fundeio, e isto ocorre em concordância com a orientação das linhas batimétricas locais e, principalmente quanto à orientação da linha de costa.

Em todo o levantamento 40,8% das ondas tinham alturas significativas entre 0,1 e 0,2 m, e 28,2 % entre 0,2 e 0,3 %. Já os períodos mais frequentes foram os de 7 a 8 segundos (30,9 %), seguidos de 6 a 7 segundos (21,7 %).

A análise dos dados indica que o comportamento da agitação marinha na área de estudo é característico de mar de vento, também conhecidos como vaga.

A configuração da fisiografia local, principalmente relacionada à presença da Ilhabela à sul, é responsável por gerar uma zona de sombra que impede a chegada de ondulações mais intensas, do tipo *Swell*, geradas em altas latitudes.

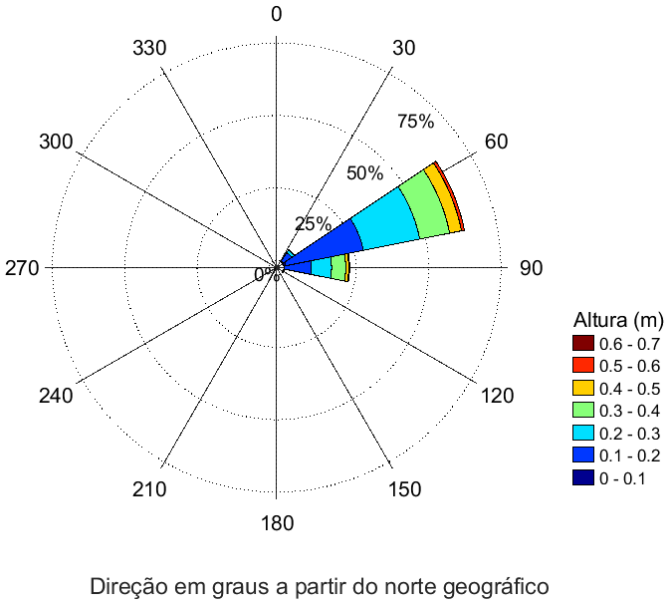


Figura 3.7.3.b: Rosa de altura significativa (m) e direção média (°) segundo dados coletados no fundeio entre 23 de janeiro e 18 de fevereiro de 2018.

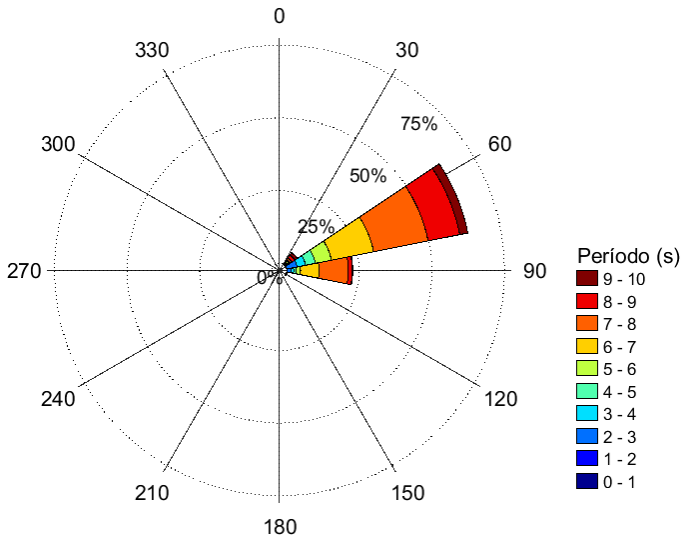


Figura 3.7.3.c: Rosa de período de pico (s) e direção média (°) segundo dados coletados no fundeio entre 23 de janeiro e 18 de fevereiro de 2018

Tabela 3.7.3.a: Diagrama de ocorrência conjunta de altura significativa das ondas (m) e direção de propagação, segundo dados dados coletados no fundeio entre 23 de janeiro e 18 de fevereiro de 2018

Hs (m)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	%
0.0-0.1	0	0	2	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2
0.1-0.2	0	0	23	184	68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**40.8**
0.2-0.3	0	0	7	134	47	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28.2
0.3-0.4	0	0	1	73	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.5
0.4-0.5	0	0	0	27	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.9
0.5-0.6	0	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0
(%)	0.0	0.0	5.3	**68.8**	25.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Media	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Max.	0.0	0.0	0.3	**0.6**	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Tabela 3.7.3.b: Diagrama de ocorrência conjunta de período de pico das ondas (s) e direção de propagação, segundo dados dados coletados no fundeio entre 23 de janeiro e 18 de fevereiro de 2018.

Tp (m)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	%
0.0-1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
1.0-2.0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
2.0-3.0	0	0	3	25	10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.9
3.0-4.0	0	0	2	20	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.2
4.0-5.0	0	0	0	23	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.3
5.0-6.0	0	0	4	38	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.7
6.0-7.0	0	0	3	100	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21.7
7.0-8.0	0	0	5	129	74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**30.9**
8.0-9.0	0	0	8	75	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.8
9.0-10.0	0	0	7	19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.0
(%)	0.0	0.0	5.3	**68.8**	25.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Media	0.0	0.0	6.9	6.6	6.5	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Max.	0.0	0.0	9.6	**9.6**	9.2	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

3.7.3.1 Dados WW3

Para caracterizar os regimes médios escalares e direcionais dos parâmetros dos estados de mar offshore, se faz necessária a utilização de base de dados de reanálise proveniente do modelo de terceira geração WAVEWATCH III implementado para a região sudeste do Brasil como condição de contorno.

Esses dados gerados por modelo numérico definem as ondas em águas profundas tornando imprescindível a aplicação de modelos de propagação para sua transferência até zonas costeiras.

Os resultados representados a seguir representam o clima de ondas com os dados entre os anos de 2016 e 2017 do ponto de coordenada 45° W e 23,8°S, localizado na região de águas profundas nas adjacências da Praia de Caraguatatuba, levados pelo modelo até a barra do Rio Juqueriquerê.

A caracterização do clima das ondas e o padrão de sazonalidade para o verão e inverno de 2016 e 2017, no ponto de coordenada 45°W e 23,8°S, está representada na Figura 3.7.3.d à Figura 3.7.3.g.

As Figuras 3.7.3.d e 3.7.3.e apresentam as séries temporais de verão e inverno dos parâmetros comumente utilizados para caracterização dos padrões de propagação de ondas: altura significativa, direção média e período de pico.

Através dessas figuras se observa que a altura no período de verão tem uma amplitude variando entre 0 a 2,8 m, porém com maior ocorrência entre 1,0 a 1,5 m. A direção no período de verão apresenta valores praticamente nas direções de ESE e S, entre 100° e 200° ao longo do tempo, enquanto que o período tem valores próximos a 6 e 12 segundos.

No período do inverno (Figura 3.7.3.e) a amplitude da altura é mais intensa que no verão, chegando a valores em torno de 3,0 metros e incidência maior entre 1 e 2 m. A direção no período de inverno permanece semelhante ao visto no verão, entre 100° e 200° enquanto que o período aumentou sua incidência entre 8 e 12 segundos.

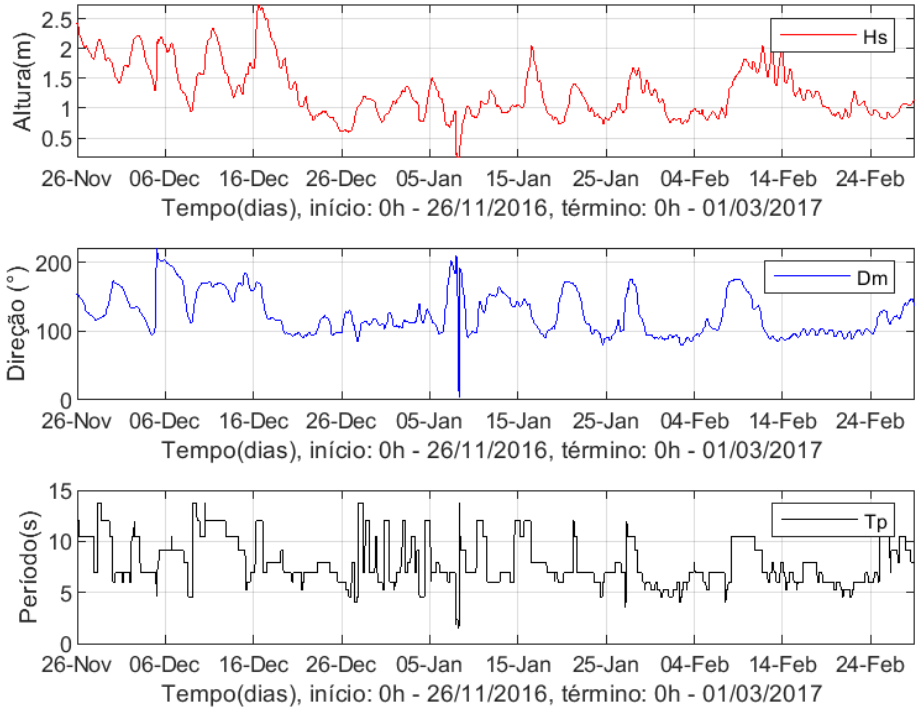


Figura 3.7.3.d: Altura significativa (m), direção média (°) e período de pico (s) segundo dados do modelo, para o período de verão.

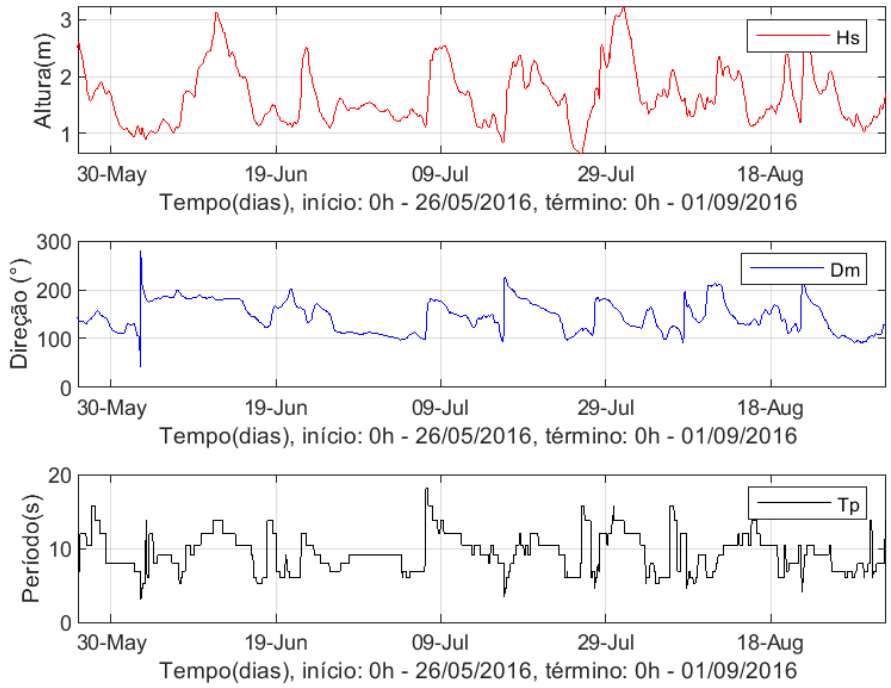


Figura 3.7.3.e: Altura significativa (m), direção média (°) e período de pico (s) segundo dados do modelo, para o período de inverno.

As Figura 3.7.3.f a Figura 3.7.3.i apresentam o espectro direcional de altura significativa e período de pico, respectivamente, onde as direções (em graus) indicam a origem da onda e a escala de cores as intensidades.

As Tabelas 3.7.3.c e 3.7.3.e mostram a distribuição de ocorrência conjunta de altura significativa e direção das ondas. As Tabelas 3.7.3.d e 3.7.3.f apresentam a distribuição de ocorrência conjunta.

Através dessas tabelas, observa-se que:

• As ondas mais frequentes que incidiram neste ponto no período de verão foram de E (30,3%) e ESE (28%), enquanto que no inverno foram de ESE (24,3%), SE (22,4%) e S (21,5%).

• 70,2% dos dados de ondas incidem com altura entre 0,5 e 1,5 m e 1.2% são maiores que 2,5 m no verão. No inverno, 42,1% dos dados de ondas incidem com altura entre 1,0 e 1,5 m e 2,0% são maiores que 3,0 m.

• Em relação ao período, 57,3% das ondas apresentaram valores entre 6 e 8 segundos no verão enquanto que no inverno 35,8 % das ondas ficaram entre 6 e 8 segundos e 34% entre 10 e 12 segundos; 1,6% dos dados no verão foram maiores que 10 segundos e 0,3% dos dados no inverno foram maiores que 18 segundos.

• No período de verão, as ondas de S são as mais intensas com altura próximo à 3 metros, seguido pelas ondas de SE e SSE com ondas em torno de 2,5 m.

• No período de inverno, as ondas de SSE são as mais intensas com alturas próximo à 4 metros, seguido pelas ondas de SE e S com ondas em torno de 3,5 m.

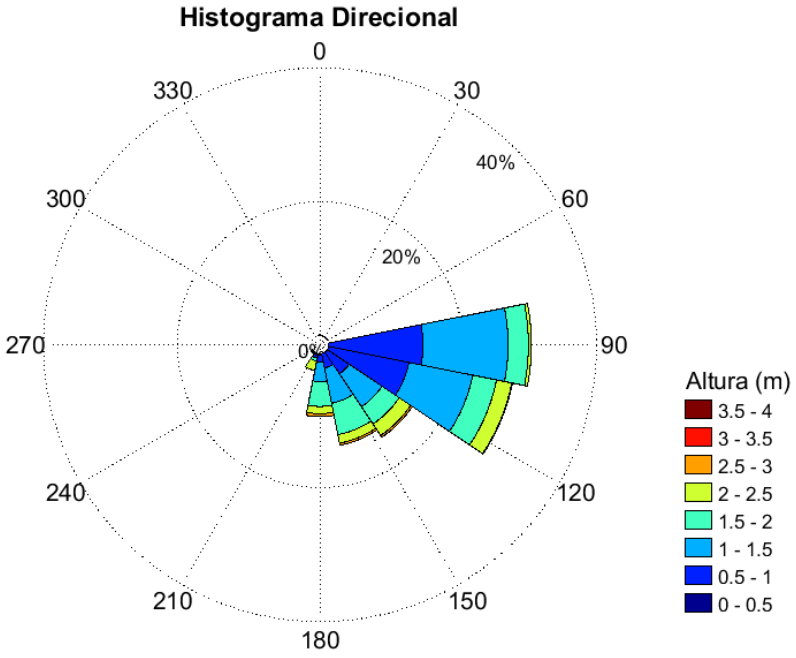


Figura 3.7.3.f. Histograma direcional da altura significativa (m) das ondas segundo dados do modelo, para o período de verão.

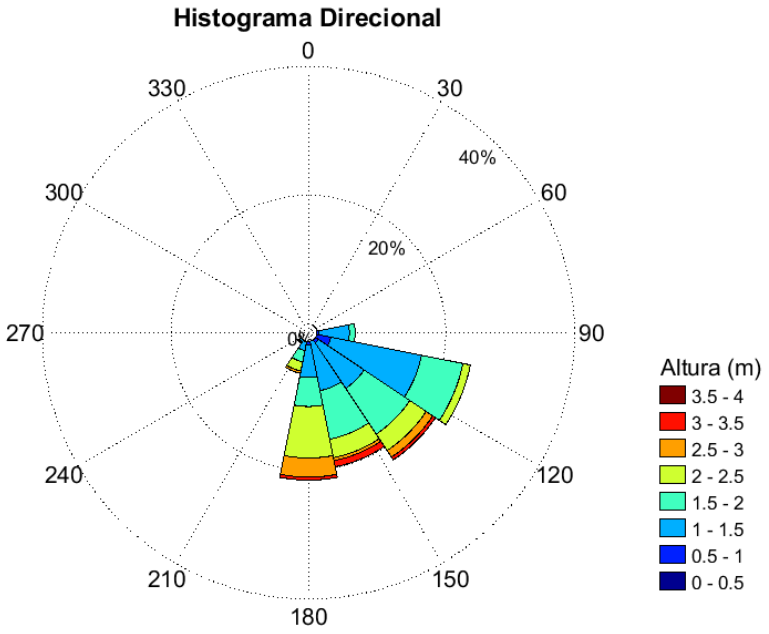


Figura 3.7.3.g. Histograma direcional da altura significativa (m) das ondas segundo dados do modelo, para o período de inverno.

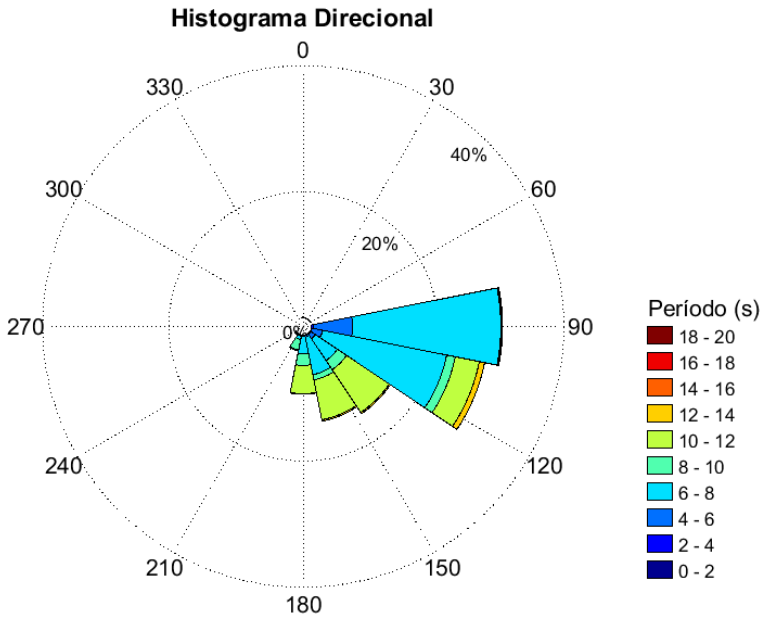


Figura 3.7.3.h. Histograma direcional do período (s) das ondas segundo dados do modelo, para o período de verão.

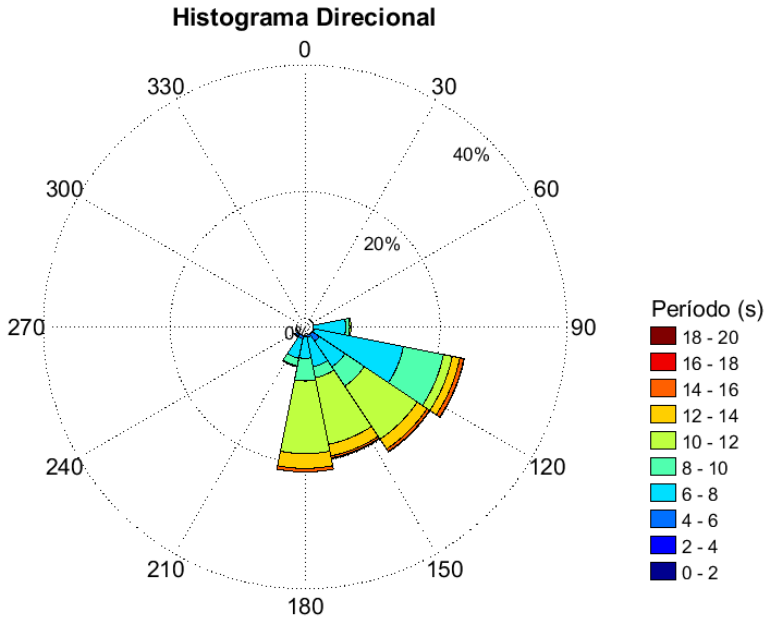


Figura 3.7.3.i. Histograma direcional do período (s) das ondas segundo dados do modelo, para o período de inverno.

Tabela 3.7.3.c - Ocorrência conjunta de altura significativa (m) e direção (º) das ondas segundo dados do modelo, para o período de verão. A direção é medida em graus a partir do norte geográfico e segue a convenção meteorológica.

Alt.(m)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Perc.
0.0- 0.5	3	1	1	0	0	0	1	0	4	6	0	0	0	0	0	0	16	0.7
0.5- 1.0	0	0	0	0	314	273	86	49	25	10	0	0	0	0	0	0	757	33.9
1.0- 1.5	0	0	0	0	284	217	132	120	64	0	0	0	0	0	0	0	817	36.6
1.5- 2.0	0	0	0	0	68	81	69	107	83	10	3	0	0	0	0	0	421	18.9
2.0- 2.5	0	0	0	0	10	52	46	29	24	32	3	0	0	0	0	0	196	8.8
2.5- 3.0	0	0	0	0	0	2	7	7	10	0	0	0	0	0	0	0	26	1.2
3.0- 3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5- 4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.0- 4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5- 5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	3	1	1	0	676	625	341	312	210	58	6	0	0	0	0	2233		
Porc.	0.1	0	0	0	30.3	28	15.3	14	9.4	2.6	0.3	0	0	0	0			
Alt. méd.	0.2	0.2	0.2	0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.5	1.6	1.9	0	0	0	0			
Alt. máx.	0.2	0.2	0.2	0	2.1	2.5	2.6	2.7	2.7	2.2	2.1	0	0	0	0			

Tabela 3.7.3.d - Ocorrência conjunta de período de pico (s) e direção (º) das ondas segundo dados do modelo, para o período de verão. A direção é medida em graus a partir do norte geográfico e segue a convenção meteorológica.

Per.(s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Perc.
0.0- 2.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.2
2.0- 4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	2.0	4.0	3.0	1.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.0	0.9
4.0- 6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	138.0	38.0	18.0	5.0	4.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	205.0	9.2
6.0- 8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	525.0	448.0	93.0	136.0	62.0	12.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1280.0	57.3
8.0-10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.0	39.0	19.0	41.0	38.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	168.0	7.5
10.0-12.0	1.0	0.0	0.0	0.0	2.0	87.0	182.0	144.0	100.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	519.0	23.2
12.0-14.0	1.0	0.0	0.0	0.0	4.0	19.0	5.0	5.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.0	1.6
Total	3.0	1.0	1.0	0.0	676.0	625.0	341.0	312.0	210.0	58.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2233.0	
Porc.	0.1	0.0	0.0	0.0	30.3	28.0	15.3	14.0	9.4	2.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Per. méd.	9.2	1.8	1.5	0.0	6.4	7.8	9.2	8.8	9.2	8.2	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Per. máx.	13.8	1.8	1.5	0.0	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	12.0	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tabela 3.7.3.e - Ocorrência conjunta de altura significativa (m) e direção (º) das ondas segundo dados do modelo, para o período de inverno. A direção é medida em graus a partir do norte geográfico e segue a convenção meteorológica.

Alt.(m)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Perc.
0.0- 0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5- 1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	8.0	52.0	13.0	0.0	12.0	4.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	93.0	4.0
1.0- 1.5	0.0	0.0	0.0	1.0	110.0	338.0	200.0	184.0	120.0	31.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	991.0	42.1
1.5- 2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.0	154.0	201.0	181.0	106.0	42.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	709.0	30.1
2.0- 2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.0	72.0	69.0	188.0	34.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	395.0	16.8
2.5- 3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.0	11.0	70.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	119.0	5.1
3.0- 3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	23.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.0	2.0
3.5- 4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.0- 4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.5- 5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total	0.0	0.0	1.0	1.0	139.0	572.0	527.0	468.0	507.0	120.0	16.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	2353.0	
Porc.	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	24.3	22.4	19.9	21.5	5.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Alt. méd.	0.0	0.0	1.0	1.0	1.3	1.4	1.6	1.7	1.9	1.7	1.6	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0		
Alt. máx.	0.0	0.0	1.0	1.0	1.8	2.4	3.2	3.2	3.1	2.8	2.4	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0		

Tabela 3.7.3.f - Ocorrência conjunta de altura significativa (m) e direção (º) das ondas segundo dados do modelo, para o período de inverno. A direção é medida em graus a partir do norte geográfico e segue a convenção meteorológica.

Per.(s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Perc.
0.0- 2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.0- 4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	5.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.4
4.0- 6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	32.0	8.0	5.0	11.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.0	2.8
6.0- 8.0	0.0	0.0	1.0	1.0	119.0	338.0	115.0	111.0	80.0	74.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	843.0	35.8
8.0-10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	152.0	86.0	42.0	84.0	29.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	408.0	17.3
10.0-12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	33.0	237.0	252.0	270.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	801.0	34.0
12.0-14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.0	44.0	44.0	55.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	172.0	7.3
14.0-16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	11.0	8.0	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.0	2.0
16.0-18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18.0-20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.3
Total	0.0	0.0	1.0	1.0	139.0	572.0	527.0	468.0	507.0	120.0	16.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	2353.0	
Porc.	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	24.3	22.4	19.9	21.5	5.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Per. méd.	0.0	0.0	6.9	6.9	7.3	8.4	9.9	10.1	10.5	7.3	4.9	3.5	3.0	0.0	0.0	0.0		
Per. máx.	0.0	0.0	6.9	6.9	12.0	18.1	18.1	18.1	15.8	12.0	6.9	3.5	3.0	0.0	0.0	0.0		

3.7.4 Correntes

A circulação oceânica de uma região é pautada por diversos fatores. A intensidade, variabilidade e direção predominante das correntes são resultado da combinação de processos que envolvem, por exemplo, a circulação atmosférica, estrutura termohalina, topografia de fundo, orientação de linha de costa e instabilidades da própria corrente (FRAGOSO, 2004; MATA & GARCIA, 1996).

O instrumento utilizado no projeto, um perfilador acústico de correntes dotado de sistema Waves Array®, também para medições direcionais de onda, mede a velocidade da água por efeito Doppler. Os transdutores emitem feixes de pulsos acústicos em uma frequência constante que é refletida de volta para o aparelho pelas partículas em suspensão na coluna d'água. A diferença de frequência entre os pulsos emitidos e os ecos recebidos é usada para calcular a velocidade relativa entre o instrumento e as partículas em suspensão, fornecendo um perfil de velocidades ao longo da coluna d'água.

A Figura 3.7.4.a mostra a área de estudo e o esforço amostral e perfis de praia, levantamento batimétrico e fundeio do ADCP.

Figura 3.7.4.a. Mapa de localização fundeio do ADCP.

O equipamento foi configurado para a coleta de direção e intensidade, com intervalo de amostragem de 15 minutos, e células a cada 1,0 m de profundidade. Os dados de corrente foram coletados no período de 23 de janeiro a 18 de fevereiro.

A profundidade local de fundeio do equipamento é de, aproximadamente, 5 metros. Considerando o blank zone, uma região adjacente ao transdutor de 1,1 m em que não há medidas de velocidade d'água para não haver erro entre sinal emitido e eco recebido, e a altura da estrutura de fixação do instrumento (0,4 m), o centro da célula das medidas mais profundas ficam a 3,3 m de profundidade. Vale ressaltar que a primeira camada de superfície (0,3 m) foi excluída nas análises em virtude das oscilações da superfície d'água implicarem em frequentes erros nos ecos recebidos pelo ADCP, nesta camada.

A seguir, a Figura 3.7.4.b mostra um *stickplot* dos dados de velocidade obtidos, fornecendo um padrão da distribuição dos vetores de velocidade ao longo da coluna d'água. Em todo o período amostrado é possível notar que as correntes permanecem principalmente no sentindo sul-sudeste, com algumas inversões da corrente no sentido oeste-nordeste

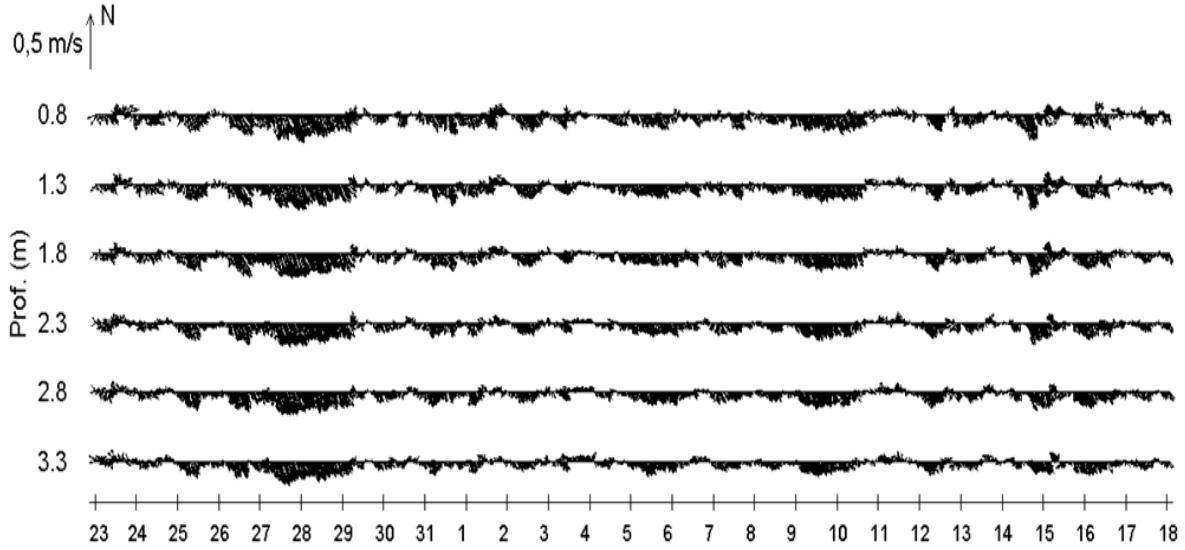


Figura 3.7.4.b: Stickplots dos vetores de velocidade no ponto de fundeio entre 23 de janeiro e 18 de fevereiro de 2018.

As Figura 3.7.4.c, Figura 3.7.4.c e Figura 3.7.4.e que seguem mostram as séries temporais das componentes *u* e *v*, enquanto as Figura 3.7.4.d, Figura 3.7.4.f e Figura 3.7.4.h apresentam as rosas de correntes nas camadas superficial (0,8 m), meia água (2,3 m) e fundo (3,3 m) da coluna d'água, respectivamente. As tabelas de ocorrência conjunta de intensidade e direção (Tabela 3.7.4.a.,Tabela 3.7.4.b e Tabela 3.7.4.c) são apresentadas em seguida.

Os resultados mostram que as correntes em superfície seguem preferencialmente nas direções SE (20 %) e SSE (19,8 %) e alcançam 0,28 m/s (SSE). As intensidades ocorrem principalmente inferiores a 0,15 m/s, com 90,3 % das ocorrências.

Em meia água (2,3 m), as correntes concentram-se mais em torno da direção SSE e atingem até 0,24 m/s. Nesta camada, 93,3 % das ocorrências encontram-se com intensidades infereiores a 0,15 m/s, comportamento semelhante ao da superfície.

Já na camada de fundo apresenta quase 84% das intensidades inferiores à 0,1 m/s sendo ligeiramente menos intensa que as camadas superiores, todavia com mesma direção predominante. Nesta camada a máxima velocidade observada foi de 0,23 m/s.

A análise dos dados indica um comportamento quase que unidirecional das correntes (SSE), que responde à interação do relativo reduzido fluxo (em torno de de 0,15 m/s) com a fisiografia da praia e respectivo avanço em direção ao oceano da linha de costa na porção sul da mesma.

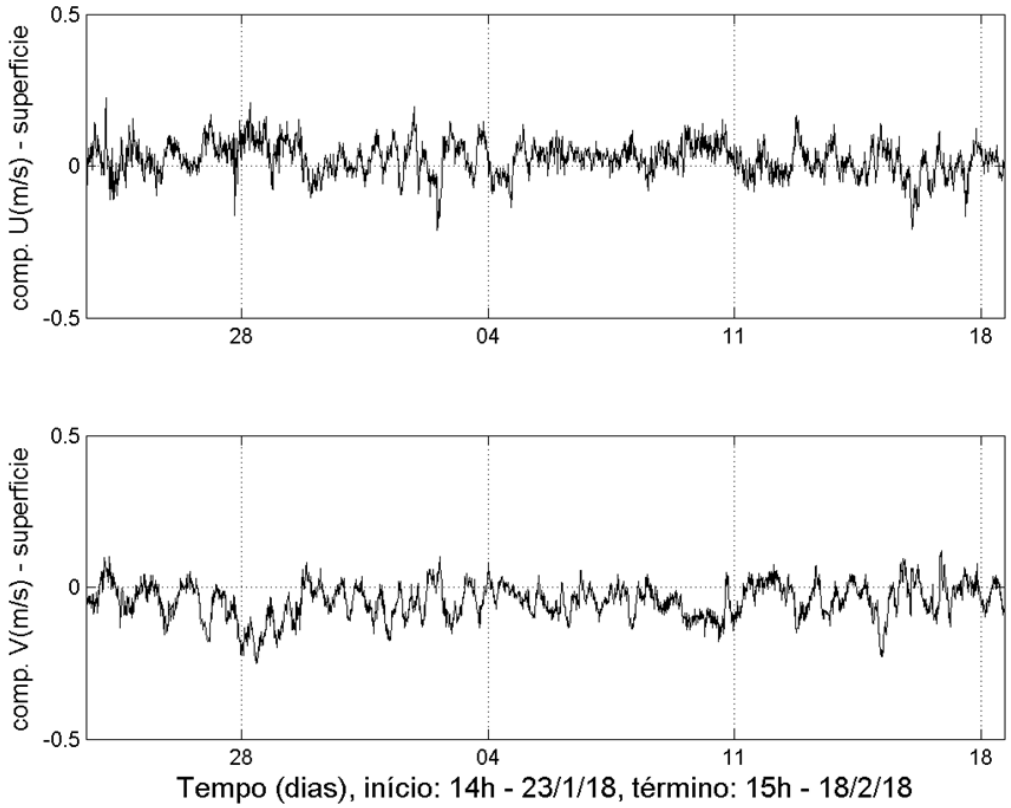


Figura 3.7.4.c: Séries temporais das componentes u e v de superfície (0,8 m) no ponto de fundeio entre 23 de janeiro e 18 de fevereiro de 2018.

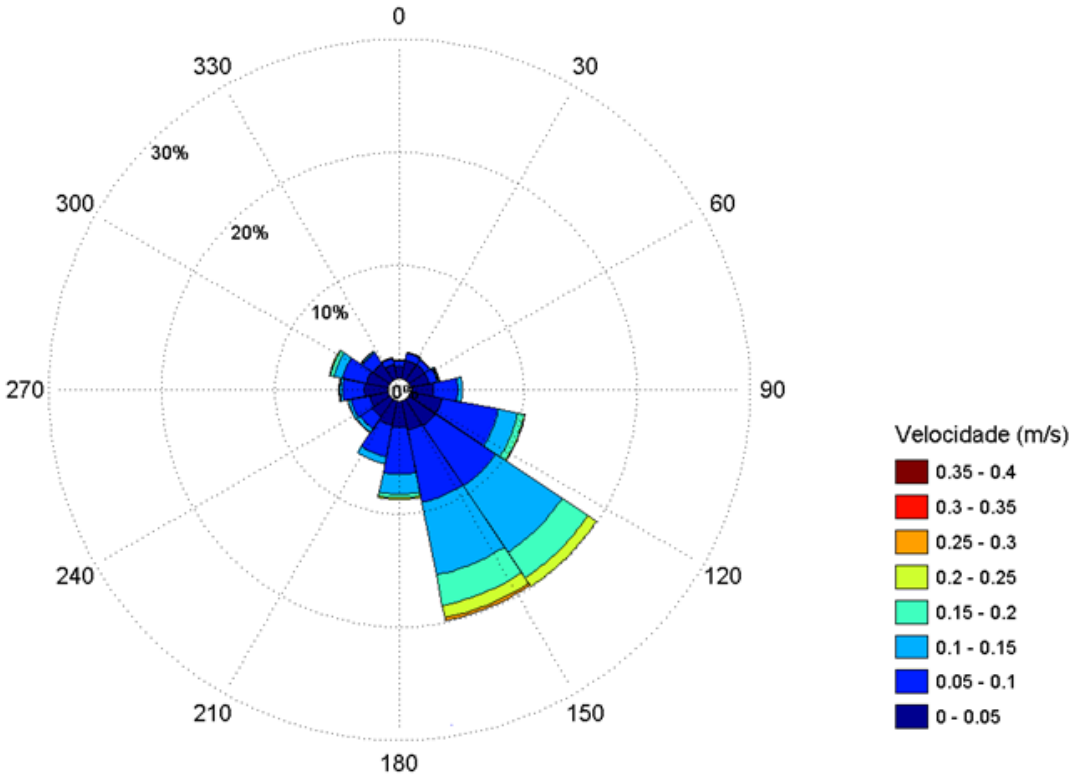


Figura 3.7.4.d: Rosa de correntes de superfície (0,8 m) no ponto de fundeio 23 de janeiro e 18 de fevereiro de 2018.

Tabela 3.7.4.a: Diagrama de ocorrência conjunta de velocidade das correntes (m/s) e direção de superfície (0,8 m), segundo dados coletados no fundeio entre 23 de janeiro e 18 de fevereiro de 2018

Vel (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	%
0.00-0.05	25	41	42	42	50	71	70	66	58	55	47	42	52	49	44	32	31.4
0.05-0.10	13	17	13	18	54	127	161	163	104	71	32	42	48	54	29	14	**38.4**
0.10-0.15	3	2	2	3	10	43	177	164	44	16	10	7	6	19	4	2	20.5
0.15-0.20	0	0	0	1	0	15	68	69	8	0	1	1	2	9	1	0	7
0.20-0.25	0	0	0	2	0	2	23	29	4	0	0	0	1	2	0	0	2.5
0.25-0.30	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2
(%)	1.6	2.4	2.3	2.6	4.6	10.3	**20**	19.8	8.7	5.7	3.6	3.7	4.4	5.3	3.1	1.9	
Media	0.05	0.04	0.04	0.05	0.06	0.08	0.1	0.11	0.08	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.05	0.04	
Max.	0.12	0.12	0.13	0.23	0.14	0.24	0.25	**0.28**	0.23	0.14	0.16	0.19	0.21	0.22	0.16	0.11	

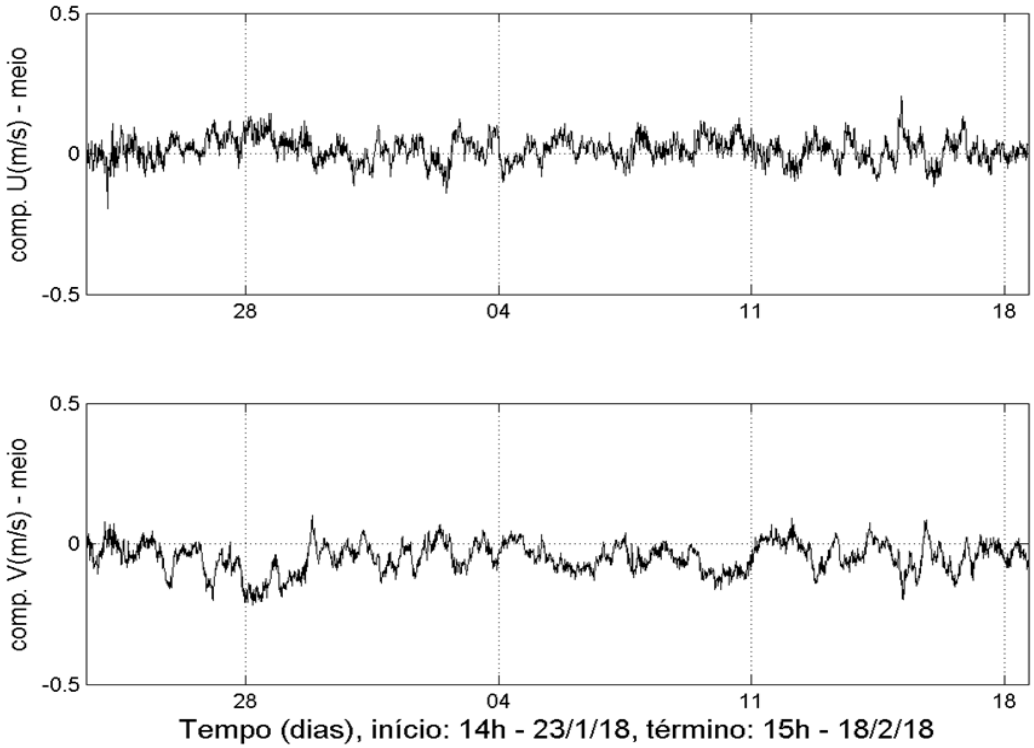


Figura 3.7.4.e: Séries temporais das componentes u e v de meia água (2,3 m) no ponto de fundeio entre 23 de janeiro e 18 de fevereiro de 2018

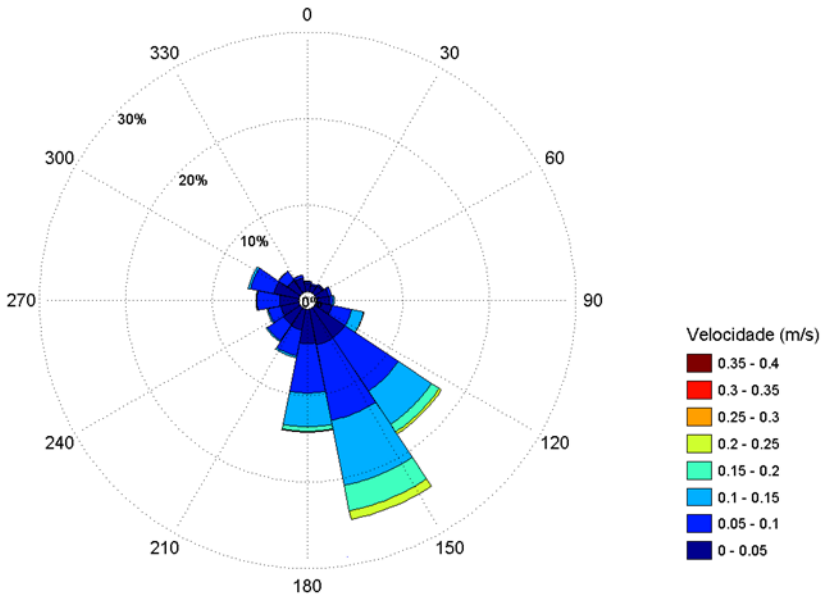


Figura 3.7.4.f: Rosa de correntes de meia água (2,3 m) no ponto de fundeio entre 23 de janeiro e 18 de fevereiro de 2018.

Tabela 3.7.4.b: Diagrama de ocorrência conjunta de velocidade das correntes (m/s) e direção de meia água (2,3 m), segundo dados dados coletados no fundeio entre 23 de janeiro e 18 de fevereiro de 2018

Vel (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	%
0.00-0.05	25	20	26	37	38	47	105	106	100	62	59	54	56	74	45	41	35.8
0.05-0.10	5	5	5	9	9	58	186	223	143	76	56	37	65	69	31	9	**39.4**
0.10-0.15	1	0	0	0	5	35	115	190	97	6	4	4	2	7	1	0	18.7
0.15-0.20	0	0	0	0	0	0	27	77	14	0	0	0	1	0	0	0	4.8
0.20-0.25	0	0	0	0	0	1	8	25	2	0	0	0	0	0	0	0	1.4
(%)	1.2	1	1.2	1.8	2.1	5.6	17.6	**24.8**	14.2	5.8	4.8	3.8	5	6	3.1	2	
Media	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07	0.09	0.1	0.08	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	
Max.	0.1	0.09	0.08	0.07	0.12	0.23	0.23	**0.24**	0.21	0.12	0.12	0.13	0.2	0.14	0.1	0.1	

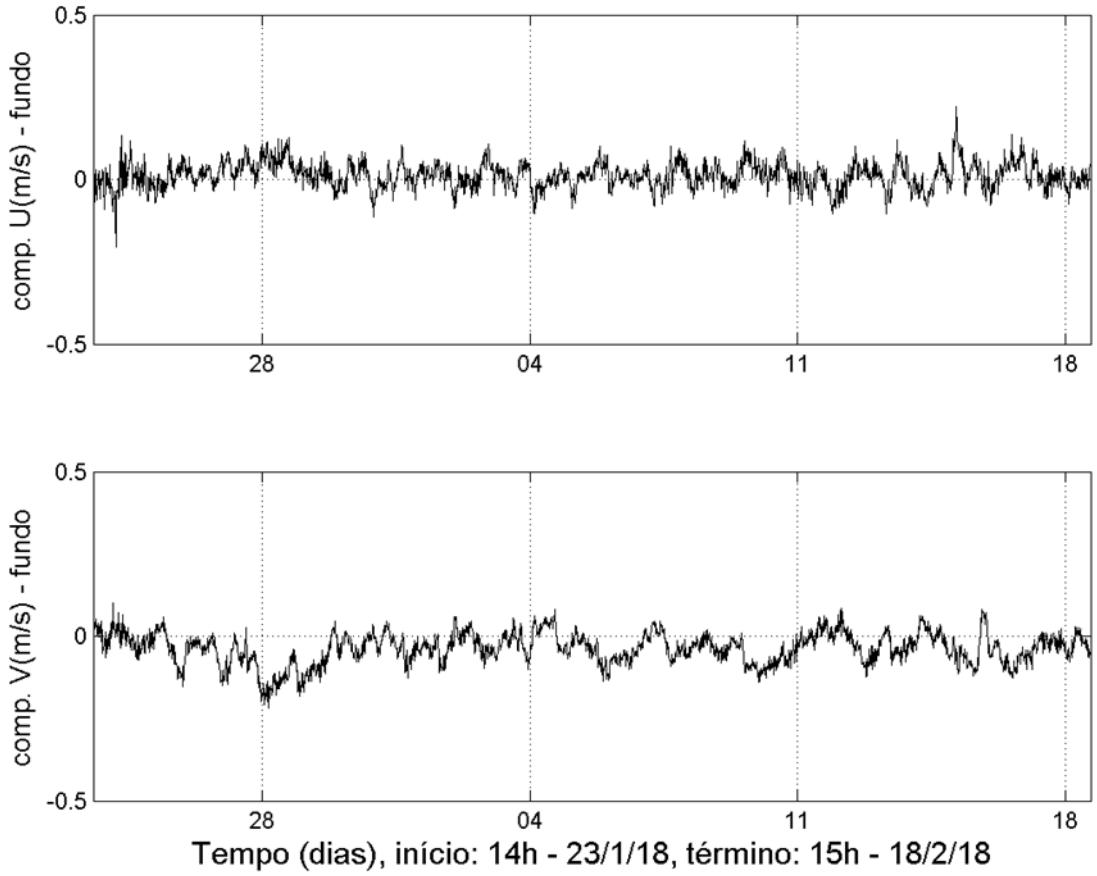


Figura 3.7.4.g: Séries temporais das componentes u e v de fundo (3,3 m) no ponto de fundeio entre 23 de janeiro e 18 de fevereiro de 2018.

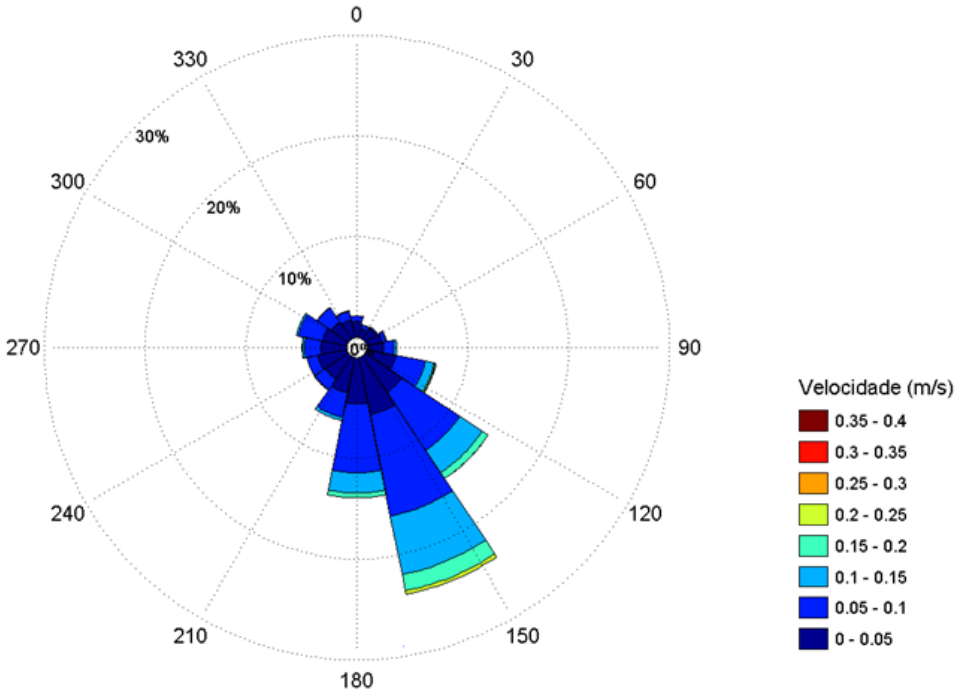


Figura 3.7.4.h: Rosa de correntes de fundo (3,3 m) no ponto de fundeio entre 23 de janeiro e 18 de fevereiro de 2018.

Tabela 3.7.4.c: Diagrama de ocorrência conjunta de velocidade das correntes (m/s) e direção de fundo (3,3 m), segundo dados dados coletados no fundeio entre 23 de janeiro e 18 de fevereiro de 2018

Vel (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	%
0.00-0.05	40	23	31	39	42	74	109	145	115	90	69	74	64	62	51	45	**42.9**
0.05-0.10	14	10	5	10	26	74	173	257	171	62	31	27	41	61	43	22	41
0.10-0.15	0	0	0	1	6	22	66	148	50	8	2	0	5	5	1	2	12.6
0.15-0.20	0	0	0	0	0	3	18	41	12	0	0	0	0	0	0	0	3
0.20-0.25	0	0	0	0	0	2	1	9	0	0	0	0	1	0	0	0	0.5
(%)	2.2	1.3	1.4	2	3	7	14.7	**24**	13.9	6.4	4.1	4	4.4	5.1	3.8	2.8	
Media	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.07	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	
Max.	0.08	0.09	0.07	0.1	0.14	**0.23**	0.2	**0.23**	0.18	0.14	0.1	0.09	0.21	0.12	0.13	0.12	

3.7.5. Ventos

Para a caracterização do padrão de ventos na região foram utilizados os dados coletados pela "Estação Meteorológica do CEBIMar/USP - São Sebastião (Estação Davis)", a qual está instalada na Ponta do Baleeiro, Praia do Segredo, São Sebastião, SP (coordenadas 23º49'25 S - 45º25'18 W, a 18 m de altitude).

Os dados foram coletados, gerenciados e cedidos pela equipe técnica do Centro de Biologia Marinha da Universidade de São Paulo e estão disponíveis no endereço: http://cebimar.usp.br/.

Na Figura 3.7.5.a é apresentado o histograma direcional do vento para o período de 23 de janeiro a 18 de fevereiro de 2018, enquanto que na Tabela 3.7.5.a encontra-se a distribuição conjunta de velocidade do vento e direção.

O vento para esse período é predominantemente do quadrante NE, variando entre NNE e E. Também ocorre a incidência de ventos de W que correspondem a 27% da distribuição.

As maiores intensidades alcançam 5,5 m/s para os ventos de NE e 5 m/s para os ventos de W. A classe de velocidades com maior ocorrência é entre 1 e 2 m/s, totalizando cerca de 28% da distribuição.

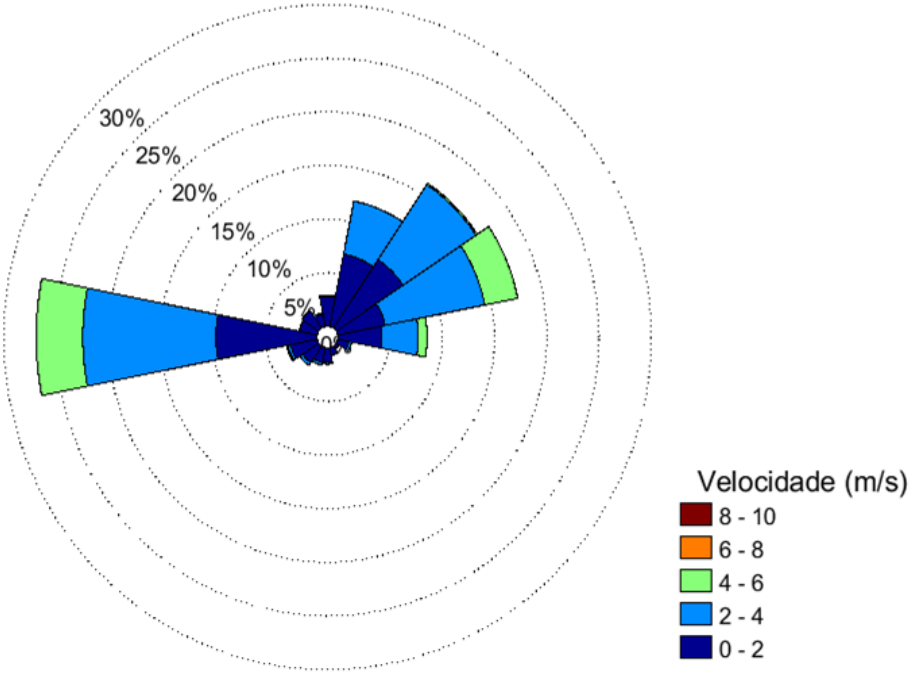


Figura 3.7.5.a. Domínio numérico regional para propagação de ondas.

Tabela 3.7.5.a. Diagrama de ocorrência conjunta de velocidade de ventos (m/s) e direção.

Vel (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	(%)
0.0-0.5	14	45	38	29	57	35	8	26	27	26	26	22	84	48	35	21	10.7
0.5-1.0	23	65	53	44	52	11	7	7	28	27	41	44	87	33	22	20	11.1
1.0-1.5	32	103	136	73	66	9	1	3	12	6	17	28	165	9	34	14	14.0
1.5-2.0	14	135	174	85	48	3	0	2	2	13	8	34	163	3	6	11	13.8
2.0-2.5	8	147	144	90	54	9	0	2	9	10	6	7	165	1	3	4	13.0
2.5-3.0	0	100	116	140	51	3	0	0	1	3	3	4	188	0	0	3	12.1
3.0-3.5	0	11	100	144	37	1	0	0	0	0	4	1	153	0	0	0	8.9
3.5-4.0	0	0	71	125	38	0	0	0	0	0	3	2	148	0	0	0	7.6
4.0-4.5	0	0	8	91	22	0	0	0	0	0	0	7	169	0	0	0	5.9
4.5-5.0	0	0	0	44	21	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	2.5
5.0-5.5	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6
(%)	1.79	11.94	16.55	17.64	8.79	1.40	0.32	0.79	1.56	1.68	2.13	2.94	27.23	1.85	1.97	1.44	
Média	1.12	1.76	2.13	2.85	2.09	0.94	0.43	0.62	0.86	1.04	1.10	1.35	2.55	0.62	0.85	1.01	
Máx.	2.34	3.23	4.25	5.36	4.98	3.23	1.39	2.34	2.55	2.69	3.73	4.26	4.92	2.38	2.24	2.69	

3.8. Modelagem Numérica

A modelagem numérica (ondas, correntes e transporte de sedimentos) foi utilizada para entender o padrão de circulação local, e assim, dar suporte a caracterização hidrodinâmica costeira da região de estudo e como subsídio básico no delineamento das geometrias das obras de engenharia de revitalização e estabilização da Foz do Rio Juqueriquerê.

A avaliação dos resultados da modelagem numérica foi demonstrada através de comparações com dados oceanográficos coletados na região.

Os estudos de modelagem hidrodinâmica acoplada a modelagem de ondas para avaliação dos padrões hidrodinâmicos, e de erosão e deposição na região foram constituídos das seguintes etapas:

a) Implantação do modelo em uma região englobando a área de interesse. Esse processo de implantação levou em conta todas as informações ambientais disponíveis para a geração dos campos iniciais e das forçantes utilizadas nas simulações numéricas;

b) Avaliação dos resultados da modelagem hidrodinâmica através de comparações com dados oceanográficos disponíveis.

c) Execução dos modelos (hidrodinâmico + ondas + transporte de sedimentos) para as condições ambientais atuais e duas configurações futuras de layout de possíveis enrocamentos na Foz do Rio Juqueriquerê.

Para resolver o problema de dinâmica em escala espacial e temporal adequada para as aplicações finais (determinação da hidrodinâmica costeira e como suportes básicos no delineamento das obras de engenharia), optou-se pela utilização dos modelos:

- DELFT3D desenvolvido pelo WF | Delft Hydraulics e

- Sistema de Modelado Costero (SMC), desenvolvido pelo Grupo de Ingenieria Oceanografica y de Costas (GIOC) da Universidad de Cantabria e Dirección General de Costas do Ministerio do Medio Ambiente da Espanha.

As modelagens numéricas foram conduzidas para os períodos de verão e inverno, contemplando um ciclo sazonal completo.

Em decorrência dos estudos de modelagem numérica, foram ser propostas alternativas de enrocamento para estabilidade da Foz do Rio Juqueriquerê, a partir de desenhos conceituais, por sua vez avaliados a partir dos seus impactos apresentados na modelagem numérica.

As alternativas previstas foram avaliadas sob o ponto de vista ambiental, apresentando, sempre que possível, soluções para eliminar e/ou minimizar os eventuais impactos detectados.

3.8.1 Modelagem do Campo de Correntes

Conforme citado, para a determinação do campo de correntes e de ondas, elevação de nível da superfície d'água foi empregado o modelo DELFT3D-FLOW, desenvolvido WL | Delft Hydraulics (DELTARES, 2013), de reconhecida eficiência e já aplicados em diversos estudos semelhantes no mundo.

Este sistema de modelos é capaz de simular a circulação hidrodinâmica como resposta a forçantes baroclínicas e barotrópicas, assim como a transferência de momentum ao sistema hidrodinâmico decorrente do sistema de ventos.

O modelo resolve as equações de conservação de massa e de quantidade de movimento, prognosticando os campos de elevação da superfície e de velocidades, através da especificação de marés, ondas e/ou gradientes de densidade, e forçantes meteorológicas superficiais (vento e pressão atmosférica).

A possibilidade de se trabalhar com grades altamente ajustáveis aos contornos foi a característica determinante para a escolha deste modelo. A acomodação da grade numérica a linha de costa permite uma apurada

representação do corpo d'água. Para a solução do problema dinâmico são consideradas as equações de conservação de massa e quantidade de movimento em coordenadas esféricas. Também são utilizadas as aproximações hidrostáticas e de Boussinesq.

Para este estudo foram considerados os termos não-lineares de aceleração convectiva, Coriolis e viscosidade horizontal turbulenta. As aproximações para utilização de coordenadas curvilíneas ortogonais são consideradas na solução numérica da formulação descrita. Estas aproximações para grades numéricas utilizam-se de funções de transformações entre os espaços físico e numérico. Tais funções de transformações são obtidas por meio da solução de um conjunto acoplado de equações diferenciais parciais elípticas e quase-lineares.

A solução do esquema numérico é iniciada pelo mapeamento da geometria do domínio no espaço matemático, a partir da discretização da área no espaço físico. No espaço matemático (regular) são resolvidas as equações de continuidade e conservação da quantidade de movimento. A estrutura vertical é determinada por procedimentos explícitos com a especificação dos termos de difusão horizontal.

A grade implementada representa um compromisso entre os objetivos do projeto e a descrição dos processos dinâmicos na região de interesse, bem como entre os recursos computacionais e o tempo de processamento necessário. Além disso, o modelo possui a capacidade de reproduzir o fenômeno de inundação e secagem de células em função da variação do nível de maré.

Os detalhes e as principais características do Deflt3D, que justificam a escolha deste modelo para este estudo, são descritas em seguida:

3.8.2 Descrição do Modelo DELFT3D-FLOW

Para resolver o problema de hidrodinâmica em escala espacial e temporal adequada para as aplicações finais (determinação do campo de correntes e elevação de nível da superfície d'água), optou-se pela utilização do modelo Delft3D.

O Delft3D permite que se trabalhe com grades altamente ajustáveis aos contornos. A acomodação da grade numérica à linha de costa permite uma apurada representação do corpo d'água em estudo. Para a solução do problema dinâmico são consideradas as equações de conservação de massa e quantidade de movimento, além da utilização das aproximações hidrostáticas e de Boussinesq.

Processos Físicos

A implementação do modelo hidrodinâmico foi baseada em um sistema de equações de águas rasas tridimensionais. O sistema de equações consiste nas equações horizontais da quantidade de movimento, na equação de continuidade e nas equações de transporte para constituintes conservativos. Tal conjunto de equações é derivado das equações tridimensionais de Navier-Stokes para um fluido incompressível. A seguir, são descritas as considerações e aproximações do modelo:

- É adotado o sistema de coordenadas sigma (σ) no eixo vertical. A profundidade é assumida como sendo muito menor do que a escala horizontal. Então, devido à reduzida razão de aspecto, as aproximações para o sistema de águas rasas tornam-se válidas e, por conseguinte, a equação vertical do movimento reduz-se à equação hidrostática;
- O efeito da densidade é considerado somente através de seu efeito na pressão (aproximação de Boussinesq);
- Utiliza-se o sistema de coordenadas cartesianas, não considerando o efeito da curvatura da Terra. Além disso, o parâmetro de Coriolis é assumido como uniforme;
- Assume-se uma condição de deslizamento no fundo (slip boundary condition) e é aplicada uma formulação de segunda ordem (quadrática) ao cisalhamento no fundo;
- A formulação para a tensão de cisalhamento no fundo devido à ação conjunta das ondas e correntes é baseada num campo de fluxo 2D,

gerado a partir da velocidade próxima ao fundo, utilizando uma aproximação logarítmica;

- As equações do Delft3D-FLOW são capazes de resolver as escalas turbulentas (large eddy simulation). No entanto, as grades são geralmente muito grosseiras para resolver estas flutuações. Desta forma, as equações utilizadas são baseadas nas tensões de Reynolds;
- No Delft3D-FLOW os vórtices turbulentos são definidos pela profundidade da água. Sua contribuição à troca vertical da quantidade de movimento horizontal e da massa é modelada através de um coeficiente de viscosidade vertical turbulenta e difusividade turbulenta. Assume-se que os coeficientes são proporcionais à escala de velocidade e comprimento.
- Os coeficientes devem ser especificados (valor constante) ou computados por modelos algébricos, de turbulência k-L ou k-ε, onde k representa a energia cinética turbulenta, L é o máximo comprimento e ε, a taxa de dissipação da energia cinética turbulenta;
- Em concordância com a razão de aspecto para consideração da formulação de águas rasas, a geração de turbulência é baseada no gradiente vertical do fluxo horizontal;
- A velocidade em um ponto de grade assume magnitude zero quando a altura da coluna d'água atinge cotas inferiores à metade daquela definida pelo usuário. A velocidade pode retornar a magnitudes diferentes de zero quando a altura da coluna d'água atingir valores acima da metade do valor de corte;
- Uma célula é considerada "seca" quando os quatro pontos de velocidade nas extremidades da célula secarem, ou quando a profundidade da água no centro da célula for menor que zero (volume negativo);
- O fluxo de massa através dos contornos laterais e de fundo é nulo;

- Quando não é especificado o campo de temperaturas, a troca de calor com a atmosfera é anulada. A troca de calor através do fundo é nula;
- Se a troca de calor com a superfície da água é computada, utilizando um modelo de temperatura, o coeficiente de troca é função da temperatura e da velocidade do vento e, é determinado de acordo com Sweers (1976). Assume-se que a temperatura do ambiente é constante no espaço e pode variar no tempo. Em outras formulações de troca de calor, os fluxos devido à radiação solar, atmosférica e radiação de fundo, convecção e perdas de calor devido à evaporação são modelados separadamente;
- O efeito da precipitação na temperatura da água é representado.

Em seguida são apresentadas as equações básicas que governam o modelo implementado.

Equações Básicas

O modelo adotado resolve as equações de Navier-Stokes para fluidos incompressíveis, sob a aproximação de águas rasas e de Boussinesq.

A aceleração vertical é desprezada na equação da quantidade de movimento vertical, resultando na aproximação hidrostática. Desse modo, a velocidade vertical é calculada através da equação da continuidade.

O Sistema de Coordenadas Sigma (σ)

O sistema de coordenadas sigma (σ) foi introduzido em modelos atmosféricos (PHILLIPS, 1957). O eixo vertical consiste em camadas limitadas por planos σ, não exatamente horizontais, que acompanham as variações da batimetria e do nível d'água. Através dessa representação para o eixo vertical, obtém-se uma feição suavizada para a batimetria (Figura 3.8.2.a)

O número de camadas é constante em todo o domínio, independentemente da profundidade local. A distribuição da espessura relativa de cada camada σ é usualmente não uniforme. Esta propriedade permite maior resolução nas áreas de interesse, como em regiões superficiais (importante para fluxos devido ao vento e trocas de calor com a atmosfera) e áreas próximas ao fundo (para cálculos de transporte de sedimentos).

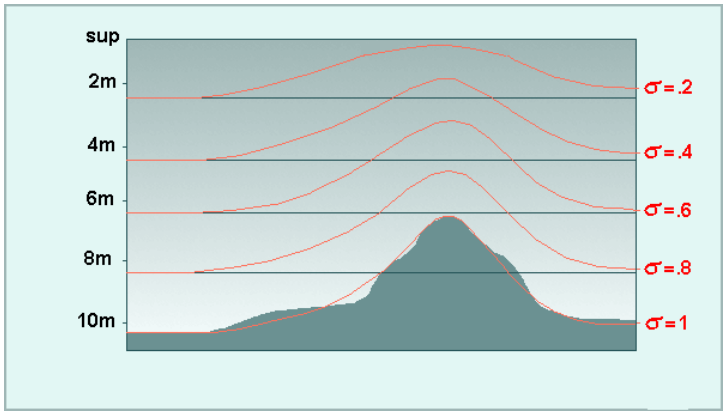


Figura 3.8.2.a- Exemplo de uma aplicação de coordenadas σ.

O sistema de coordenadas σ é definido como:

$$\sigma=(z-\zeta)/(d+\zeta)=(z-\zeta)/H \qquad \text{A.1.2-1}$$

onde:

z a coordenada vertical no espaço físico;

ζ a elevação do nível d'água, acima do plano de referência (z = 0);

d profundidade abaixo do plano de referência;

H profundidade local total (H=d+ζ).

No sistema de coordenadas σ, a coordenada vertical no fundo é definida como σ = -1, e na superfície como σ = 0 (ver Figura 3.8.2.a). As derivadas parciais no sistema de coordenadas cartesianas são expressas em coordenadas σ após

modificações (“regra da cadeia”) e termos adicionais (STELLING & VAN KESTER, 1994).

O domínio de modelagem tridimensional para o fluxo consiste em um plano horizontal de uma área restrita (limitada) composta de contornos abertos e fechados (terra) e vertical (número de camadas). No sistema de coordenadas σ o número de camadas é constante em todos os locais do plano horizontal. Para cada camada vertical, um sistema de equações conservativas é resolvido.

Equação da Continuidade

A equação da continuidade (homogênea verticalmente) é dada por:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial\left[(d+\zeta)U\sqrt{G_{\eta\eta}}\right]}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial\left[(d+\zeta)V\sqrt{G_{\xi\xi}}\right]}{\partial \eta} = Q$$

onde:

√(G_ξξ) coeficiente utilizado na transformação de coordenadas curvilíneas para coordenadas retangulares;

√(G_ηη) coeficiente utilizado na transformação de coordenadas curvilíneas para coordenadas retangulares;

ξ,η coordenadas no sistema cartesiano;

U,V velocidades médias (na vertical) nas direções ξ,η

Q representa as contribuições por unidade de área devido à fonte ou sumidouro de água, precipitação e evaporação:

$$Q = H\int_{-1}^{0}(q_{in} - q_{out})d\sigma + P - E$$

onde:

q_{in} fonte de água por unidade de volume;

q_{out} sumidouro de água por unidade de volume;

P precipitação;

E evaporação.

A tomada d'água de uma usina, por exemplo, deve ser modelada como um sumidouro. Na superfície pode haver uma fonte devido à precipitação ou um sumidouro devido à evaporação.

Equações da Quantidade de Movimento na Direção Horizontal

As equações da quantidade de movimento, nas direções ξ e η, são dadas por:

$$\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}}\frac{\partial u}{\partial \xi}+\frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial u}{\partial \eta}+\frac{\omega}{d+\zeta}\frac{\partial u}{\partial \sigma}-\frac{v^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial\sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi}+\frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial\sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta}-fv$$
$$=-\frac{1}{\rho_o\sqrt{G_{\xi\xi}}}P_\xi+F_\xi+\frac{1}{(d+\zeta)^2}\frac{\partial}{\partial\sigma}\left(\nu_V\frac{\partial u}{\partial\sigma}\right)+M_\xi$$

e,

$$\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}}\frac{\partial v}{\partial \xi}+\frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial v}{\partial \eta}+\frac{\omega}{d+\zeta}\frac{\partial v}{\partial \sigma}+\frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial\sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi}-\frac{u^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial\sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta}+fu$$
$$=-\frac{1}{\rho_o\sqrt{G_{\eta\eta}}}P_\eta+F_\eta+\frac{1}{(d+\zeta)^2}\frac{\partial}{\partial\sigma}\left(\nu_V\frac{\partial v}{\partial\sigma}\right)+M_\eta$$

As variações de densidade são negligenciadas, exceto nos termos que expressam os gradientes de pressões baroclínicas (P_ξ e P_η). As forças F_ξ eF_η, nas equações acima, representam o desequilíbrio horizontal nas tensões de Reynolds, enquanto M_ξ e M_η representam as contribuições externas (fontes ou sumidouros).

Velocidades Verticais

A velocidade vertical (ω) é calculada através de uma adaptação da equação da continuidade no sistema de coordenadas σ:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t}+\frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial\left[(d+\zeta)u\sqrt{G_{\eta\eta}}\right]}{\partial \xi}+\frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial\left[(d+\zeta)v\sqrt{G_{\xi\xi}}\right]}{\partial \eta}+\frac{\partial \omega}{\partial \sigma}=H(q_{in}-q_{out})$$

Na superfície o efeito da precipitação e evaporação é levado em conta.

A velocidade vertical ω é definida nas superfícies σ. A velocidade vertical (ω) é referente ao movimento em σ, e pode ser interpretada como a velocidade associada aos movimentos de subida e descida. As velocidades verticais w (em sua “concepção física”), no sistema de coordenadas cartesianas, não são consideradas nas equações do modelo e são computadas apenas para fins de pós-processamento. Estas velocidades podem ser expressas em função das velocidades horizontais (u e v), profundidade da coluna d’água (H), elevação do nível d’água (ζ) e velocidade vertical (ω), de acordo com:

$$w=\omega+\frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}}\left[u\sqrt{G_{\eta\eta}}\left(\sigma\frac{\partial H}{\partial \xi}+\frac{\partial \zeta}{\partial \xi}\right)+v\sqrt{G_{\xi\xi}}\left(\sigma\frac{\partial H}{\partial \eta}+\frac{\partial \zeta}{\partial \eta}\right)\right]+\left(\sigma\frac{\partial H}{\partial t}+\frac{\partial \zeta}{\partial t}\right)$$

Pressão hidrostática

Ao se adotar a aproximação das equações de águas rasas para o sistema em estudo, a equação vertical para a quantidade de movimento é reduzida à equação de pressão hidrostática. As acelerações verticais devido aos efeitos de flutuabilidade, assim como aquelas devidas às rápidas variações da topografia de fundo (batimetria) não são consideradas. Portanto,

$\partial P/\partial \sigma=-g\rho H$

Após a integração da equação acima, a pressão hidrostática é dada por:

$$P = P_{atm} + gH\int_{\sigma}^{0}\rho(\xi,\eta,\sigma',t)d\sigma'$$

Ao adotar a densidade da água como sendo constante e, considerando-se a pressão atmosférica, para o gradiente de pressão (gradiente de pressão barotrópico) têm-se:

$$\frac{1}{\rho_o\sqrt{G_{\xi\xi}}}P_\xi = \frac{g}{\sqrt{G_{\xi\xi}}}\frac{\partial\zeta}{\partial\xi} + \frac{1}{\rho_o\sqrt{G_{\xi\xi}}}\frac{\partial P_{atm}}{\partial\xi}$$

$$\frac{1}{\rho_o\sqrt{G_{\eta\eta}}}P_\eta = \frac{g}{\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial\zeta}{\partial\eta} + \frac{1}{\rho_o\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial P_{atm}}{\partial\eta}$$

Parâmetro de Coriolis

O parâmetro de Coriolis (f) depende da latitude geográfica (ϕ) e da velocidade angular de rotação da Terra (Ω). Portanto,

$f=2\Omega\sin\phi$

Tensões de Reynolds

As forças Fξ e Fη nas equações da quantidade de movimento representam o desequilíbrio horizontal nas tensões de Reynolds. As tensões de Reynolds são determinadas usando o conceito de viscosidade turbulenta, e pode ser observada em maiores detalhes em Rodi (1984). Dento deste conceito, as componentes (em cada direção) das tensões de Reynolds são o produto entre o fluxo dependente do coeficiente de viscosidade turbulenta e sua correspondente componente média devido ao tensor raio de deformação.

Considerando águas rasas, o tensor de Reynolds é anisotrópico. O coeficiente horizontal de viscosidade turbulenta (ν_H) é muito maior de que sua contra parte vertical (ν_V). O coeficiente horizontal de viscosidade turbulenta é assumido como sendo a superposição de três partes:

- uma parte devido a “turbulência de escala subgrade”;
- uma parte devido a “turbulência tridimensional (3D)”;
- uma parte devido a dispersão, para simulações representando médias na coluna d’água.

Em simulações onde as equações de quantidade de movimento e transporte são médias na coluna d’água, a distribuição da quantidade de movimento e material devido à variação vertical da velocidade horizontal, é denominada dispersão. Como o perfil vertical da velocidade horizontal não é resolvido nas simulações 2D, a dispersão não é simulada. O efeito dispersivo pode ser modelado como o produto do coeficiente de viscosidade e o gradiente de velocidade. O termo dispersivo pode ser estimado pela formulação de Elder.

Se o perfil vertical da velocidade horizontal não se aproximar de um perfil logarítmico (devido à estratificação ou a forçante do vento), recomenda-se utilizar um modelo 3D para o transporte de materiais.

A viscosidade turbulenta na horizontal é principalmente associada à contribuição dos movimentos turbulentos na horizontal e forçantes não resolvíveis na malha horizontal (“turbulência de escala subgrade”) ou por equações de águas rasas com médias de Reynolds. É introduzida a viscosidade turbulenta na horizontal na escala de subgrade (ν_{SGS}) e a viscosidade turbulenta na horizontal (ν_H^{amb}). O Delft3D-FLOW simula os movimentos turbulentos na horizontal (em larga escala) através da metodologia denominada Horizontal Large Eddy Simulation (HLES). O ν_{SGS} será computado por um modelo de turbulência.

A viscosidade horizontal do meio, definida pelo usuário é representada pela ν_H^{amb}. Consequentemente, no Delft3D-FLOW o coeficiente de viscosidade turbulento na horizontal é definido por:

$$\nu_H = \nu_{SGS} + \nu_V + \nu_H^{amb}$$

A parte ν_V se refere à turbulência tridimensional e, nas simulações 3D, é computada a partir de um modelo de fechamento turbulento 3D.

Para modelos de fechamento turbulento que respondem apenas ao cisalhamento gerado, é conveniente especificar um coeficiente de mistura vertical de forma a contabilizar outras formas de mistura não resolvíveis, (ν_V^{amb}). Por isso, além de todos os modelos de fechamento turbulento, no Delft3D-FLOW deve-se especificar uma constante (no espaço e no tempo) que represente o coeficiente de mistura do ambiente (valor referente à viscosidade turbulenta na vertical das equações de quantidade de movimento). Consequentemente, o coeficiente de viscosidade turbulenta na vertical é definido por:

$$\nu_V = \nu_{mol} + \max\left(\nu_{3D}, \nu_V^{amb}\right)$$

onde ν_{mol} é a viscosidade cinemática da água. A parte v_3D é computada através de um modelo de fechamento turbulento.

A fim de modelar o fluxo secundário em simulações 2D em curvas de rios, o Delft3D-FLOW contém uma formulação para levar em conta o efeito do movimento espiral. Assim, a tensão de cisalhamento na horizontal é extendida considerando um termo adicional.

O sistema de coordenadas σ rotaciona o tensor de cisalhamento em relação ao sistema de coordenadas cartesiano, o que implica na adição de termos adicionais (STELLING & VAN KESTER, 1994). Além disso, o tensor de cisalhamento é redefinido assumindo-se que a escala horizontal é muito maior do que a profundidade (BLUMBERG & MELLOR, 1985). Então, as forças F_ξe F_η são utilizadas na forma:

$$F_\xi = \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}}\frac{\partial \tau_{\xi\xi}}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial \tau_{\xi\eta}}{\partial \eta}$$

$$F_\eta = \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}}\frac{\partial \tau_{\eta\xi}}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial \tau_{\eta\eta}}{\partial \eta}$$

Para fluxos em pequena escala, quando o cisalhamento nos contornos fechados precisar ser levado em conta, os tensores de cisalhamento $\tau_{\xi\xi}, \tau_{\xi\eta}, \tau_{\eta\xi}, \tau_{\eta\eta}$ são determinados de acordo com as seguintes equações:

$$\tau_{\xi\xi} = \frac{2\nu_H}{\sqrt{G_{\xi\xi}}}\left(\frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{\partial u}{\partial \sigma}\frac{\partial \sigma}{\partial \xi}\right)$$

$$\tau_{\xi\eta} = \tau_{\eta\xi} = \nu_H\left\{\frac{1}{G_{\eta\eta}}\left(\frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{\partial u}{\partial \sigma}\frac{\partial \sigma}{\partial \eta}\right) + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}}\left(\frac{\partial v}{\partial \xi} + \frac{\partial v}{\partial \sigma}\frac{\partial \sigma}{\partial \xi}\right)\right\}$$

$$\tau_{\eta\eta} = \frac{2\nu_H}{\sqrt{G_{\eta\eta}}}\left(\frac{\partial v}{\partial \eta} + \frac{\partial v}{\partial \sigma}\frac{\partial \sigma}{\partial \eta}\right)$$

Para simular fluxos em larga escala, com grades horizontais grosseiras, quando o cisalhamento nos contornos fechados puder ser negligenciado, as forças F_ξ e F_η são simplificadas. Os termos de viscosidade horizontal, no Delft3D-FLOW, são então reduzidos para o operador de Laplace ao longo das linhas da grade:

$$F_\xi = \nu_H\left(\frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\xi\xi}}}\frac{\partial^2 u}{\partial \xi^2} + \frac{1}{\sqrt{G_{\eta\eta}}\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial^2 u}{\partial \eta^2}\right)$$

$$F_\eta = \nu_H\left(\frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\xi\xi}}}\frac{\partial^2 v}{\partial \xi^2} + \frac{1}{\sqrt{G_{\eta\eta}}\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial^2 v}{\partial \eta^2}\right)$$

Onde se assume que a viscosidade turbulenta é constante.

Equação de Estado

A densidade da água (ρ) é uma função da salinidade (s) e da temperatura (t).

O modelo Delft3D utiliza uma relação empírica (ECKART, 1958):

$$\rho = \frac{1000 P_o}{\lambda + \alpha_o P_o}$$

onde:

λ 1779,5 + 11,25t – 0,0745t^2 – (3,80 + 0,01 t) s

α_0 0,6980

P_o 5890 + 38 t – 0,375t^2 + 3 s

com a salinidade (s) em ‰ e a temperatura da água (t) em ºC.

3.8.3. Modelos hidrodinâmico, de ondas e de transporte de sedimentos

Como já citado, foi utilizado neste estudo o sistema de modelos numéricos Delft3D, através de seus módulos Deflt3D-FLOW, uma vez que este sistema simula a hidrodinâmica considerando forçantes baroclínicas e barotrópicas, e a transferência da energia dos ventos.

Resultados obtidos com a modelagem numérica foram, então, comparados com os dados disponíveis (dados de correntes, elevação, altura significativa e período de pico) para calibração do modelo numérico.

Para a apresentação dos resultados das simulações hidrodinâmicas, adotou-se o período completo da campanha (23 de janeiro a 18 de fevereiro de 2018, devido a disponibilidade de dados.

3.8.3.1. Discretização do Domínio

No presente estudo desejou-se analisar o comportamento de determinadas variáveis no espaço e no tempo. A metodologia empregada (simulações numéricas) depende da geometria bi e/ou tridimensional que se pretende analisar. A seguir, estão descritos os procedimentos adotados na consideração desses fatores críticos, e assim, garantindo a qualidade do estudo realizado.

Foram implementadas diferentes grades numéricas de acordo com os objetivos do projeto. Para a propagação de ondas de águas profundas para regiões costeiras até a zona de interesse foram utilizadas duas grades numéricas aninhadas.

A grade regional usada na propagação de ondas é apresentada na Figura 3.8.3.a, enquanto que a grade local, com maior resolução, é apresentada na Figura 3.8.3.b.

Para as simulações hidrodinâmicas foi utilizada uma grade regional com menor resolução (Figura 3.8.3.c) e uma grade local com maior resolução na zona de interesse e menor resolução nas áreas mais afastadas (Figura 3.8.3.d).

As características de cada grade numérica utilizada estão sumarizadas na Tabela 3.8.3.a. São apresentadas as dimensões de cada grade, bem como as respectivas resoluções mínimas e máximas.

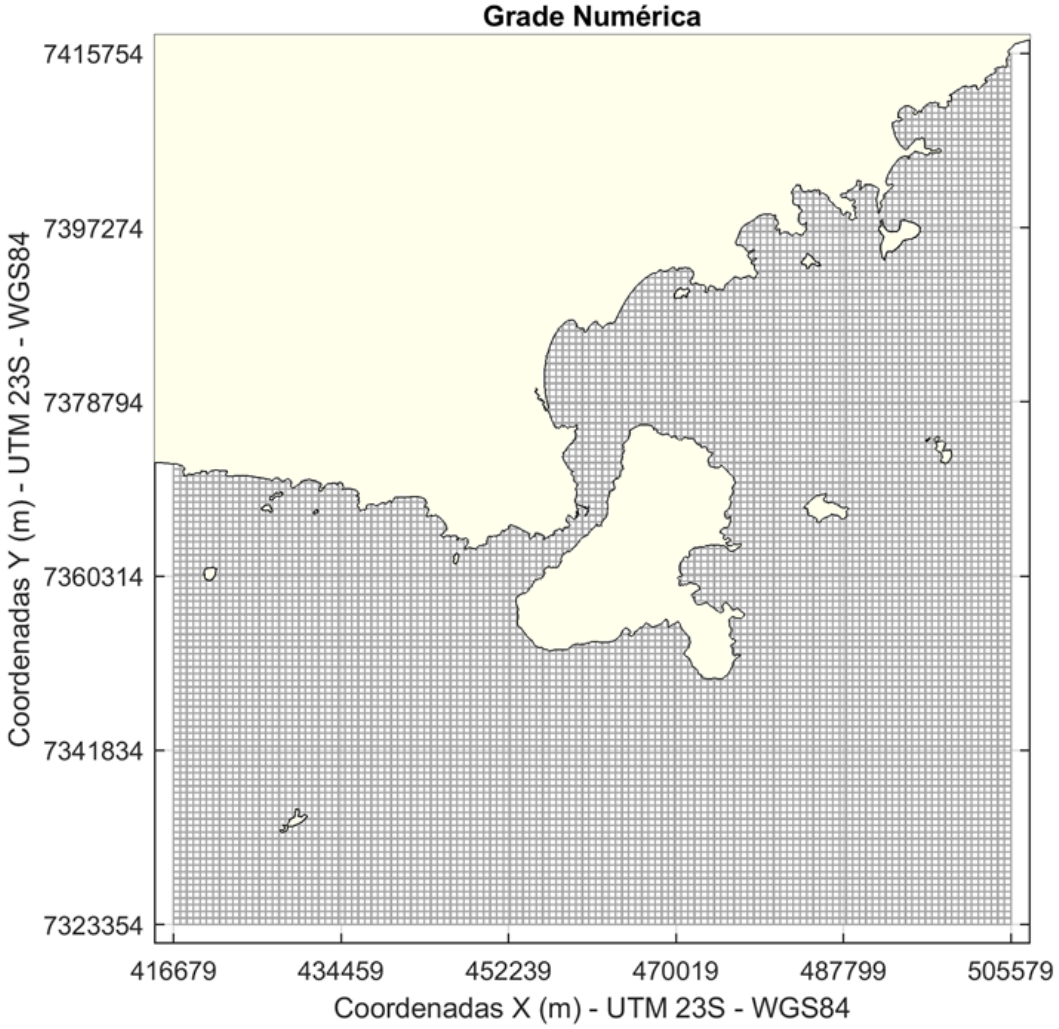


Figura 3.8.3.a. Domínio numérico regional para propagação de ondas.

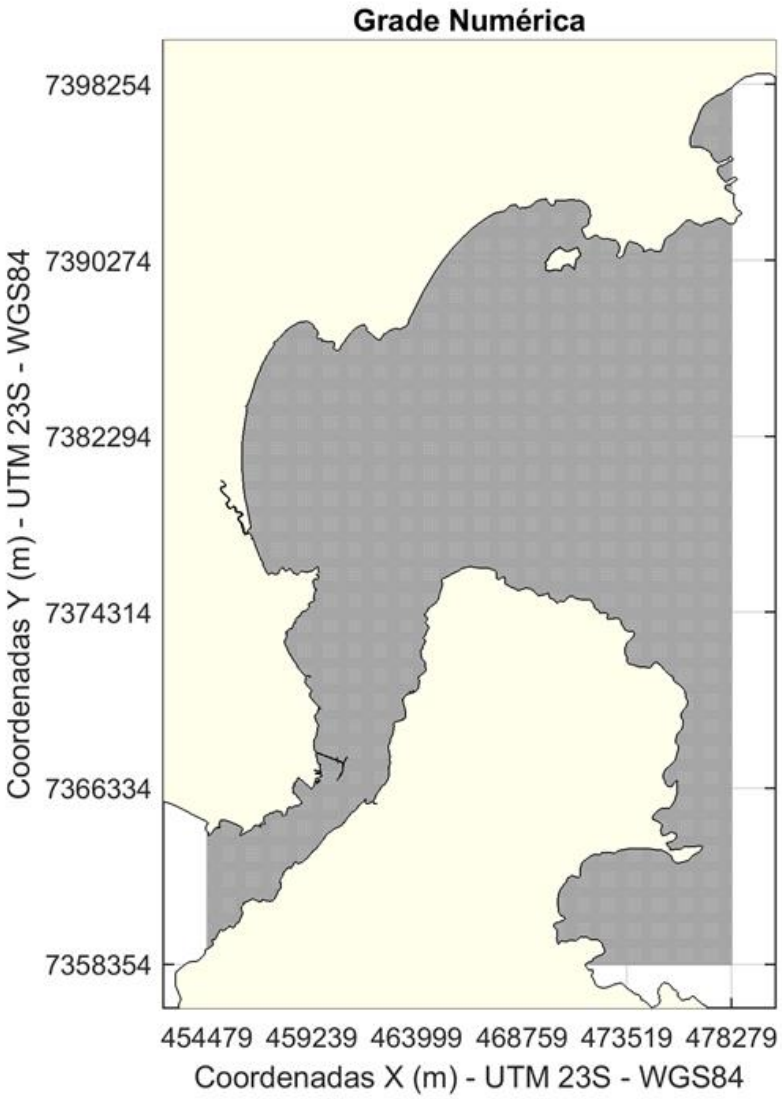


Figura 3.8.3..b. Domínio numérico local para propagação de ondas.

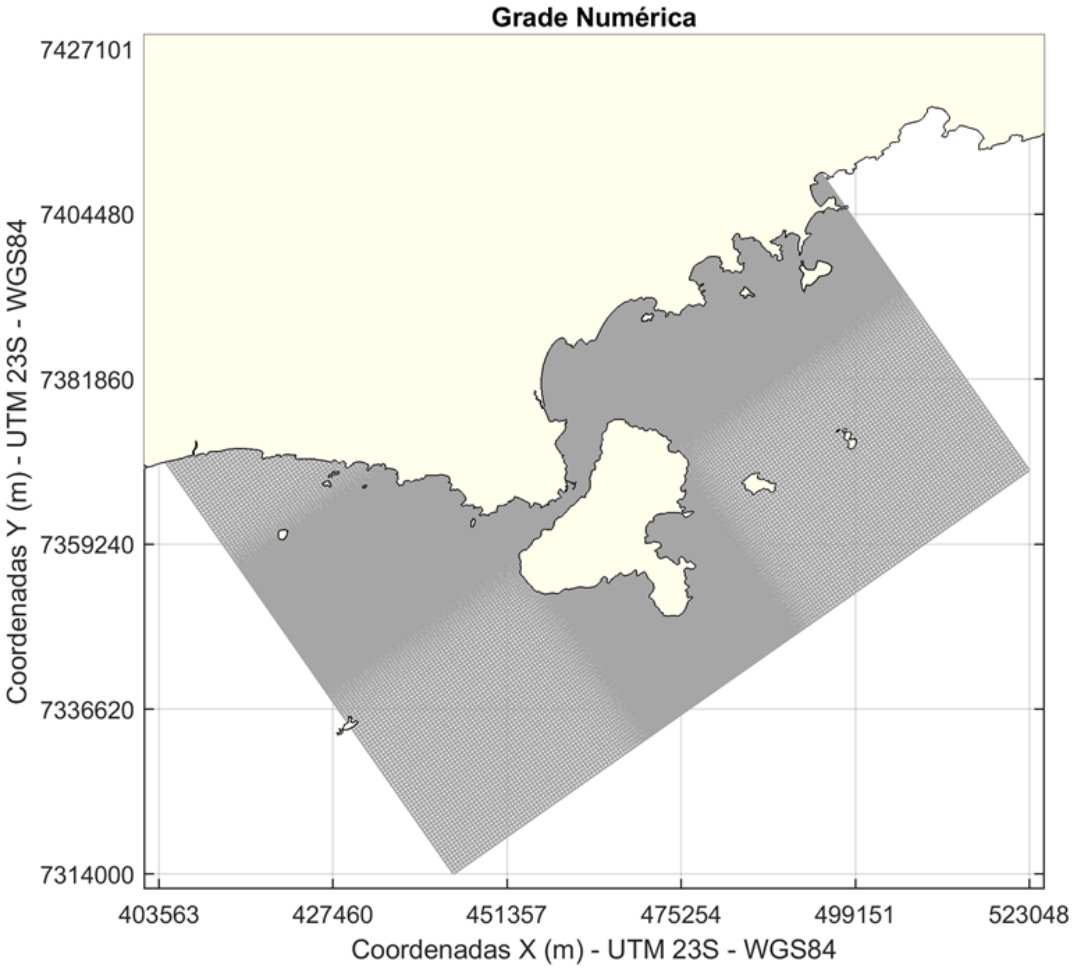


Figura 3.8.3.c. Domínio numérico regional para simulação do campo hidrodinâmico.

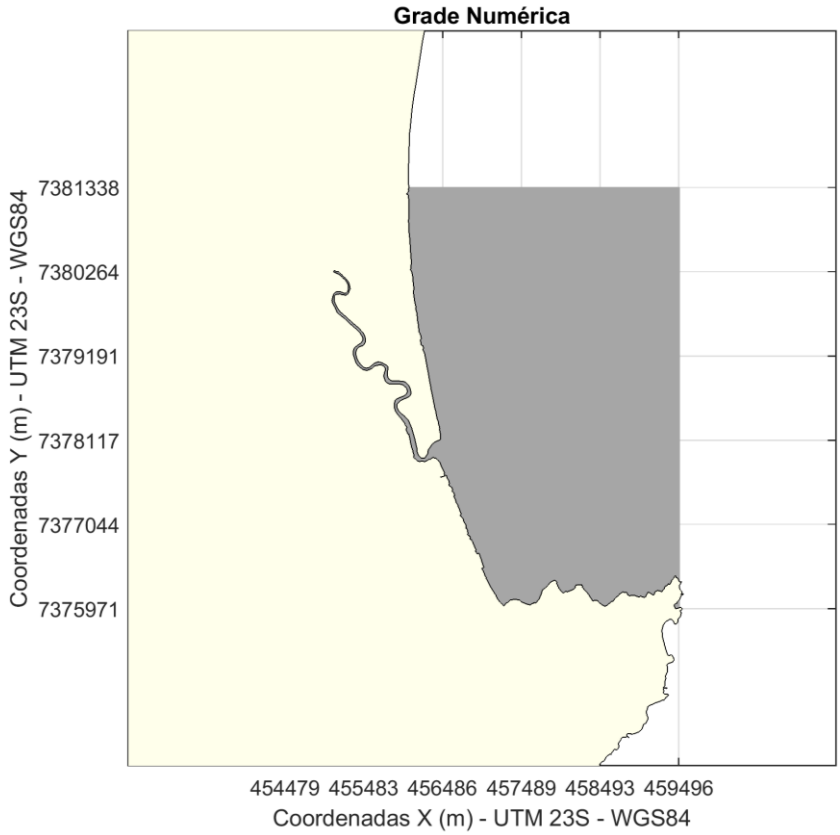


Figura 3.8.3.d. Domínio numérico local para simulação do campo hidrodinâmico.

Tabela 3.8.3.a. Características das grades numéricas

Grade	***Dimensão horizontal***	***Resolução mínima***	***Resolução máxima***
Ondas (regional)	*128x133*	*700 m*	*700 m*
Ondas (local)	*205x343*	*116 m*	*116 m*
Hidrodinâmico (regional)	*251x191*	*500 m*	*250 m*
Hidrodinâmico (local)	*303x324*	*16,67 m*	*16,67 m*

3.8.3.2. Batimetria

Os dados de profundidade foram obtidos através da compilação de dados de diferentes fontes. Foram utilizados dados provenientes dos levantamentos batimétricos realizados em campo, dentro deste projeto, para as áreas de maior detalhe e interesse direto, como também utilizados dados da digitalização dos valores batimétricos de cartas náuticas da DHN. De forma complementar foram utilizadas também informações provenientes de imagens de satélite.

A lista contendo o número e nome das cartas utilizadas é apresentada na Tabela 3.8.3.b e os resultados do levantamento batimétrico, referenciados ao nível de redução de sondagem da DHN, são apresentados na Figura 3.8.3.e.

Os dados batimétricos interpolados nos domínios numéricos (grades numéricas) são apresentados nas Figura 3.8.3.f, Figura 3.8.3.g, Figura 3.8.3.h e Figura 3.8.3.i para as grades de ondas regional, ondas local e campos hidrodinâmicos regional e local.

Tabela 3.8.3.b Cartas náuticas utilizadas na compilação de dados batimétricos

Número	***Nome***
23100	Do Rio de Janeiro a Santos
1641	Da Enseada do Mar Virado ao Porto de São Sebastião
1642	De São Sebastião a Ilha dos Gatos
1643	Canal de São Sebastião (Parte Norte)
1644	Canal de São Sebastião – Parte Sul

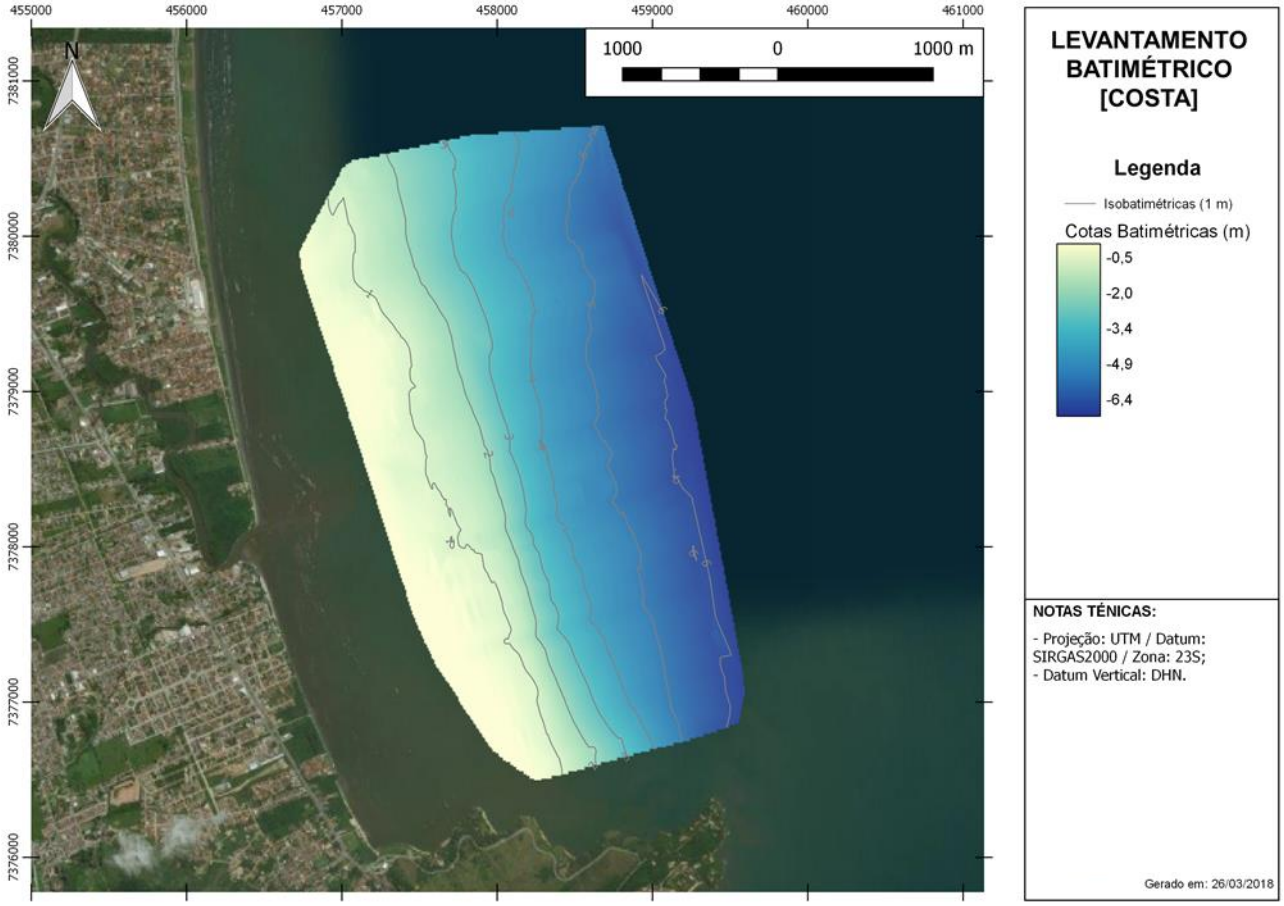


Figura 3.8.3.e. Levantamento batimétrico da região costeira adjacente.

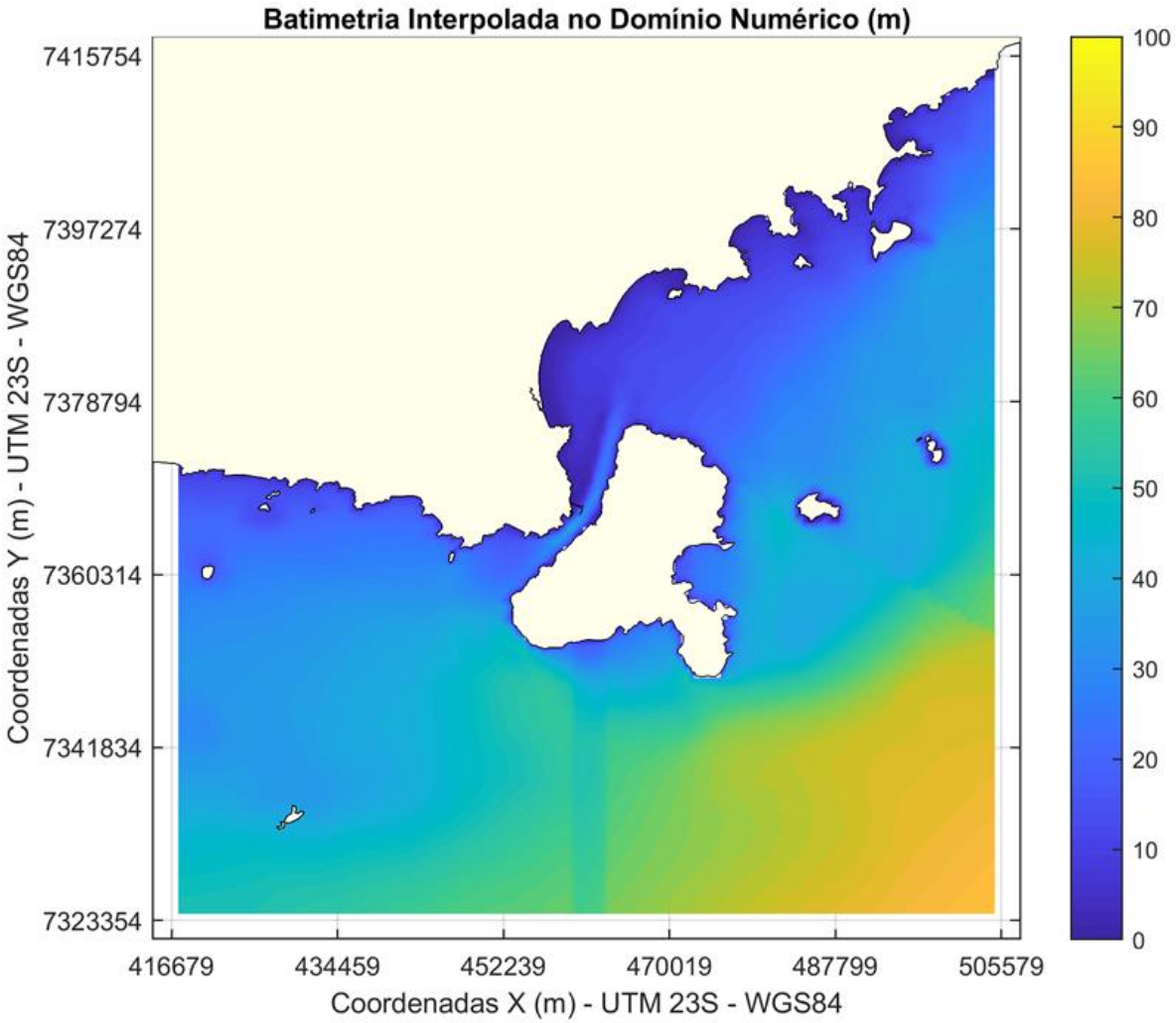


Figura 3.8.3.f. Batimetria interpolada na grade numérica regional de propagação de ondas.

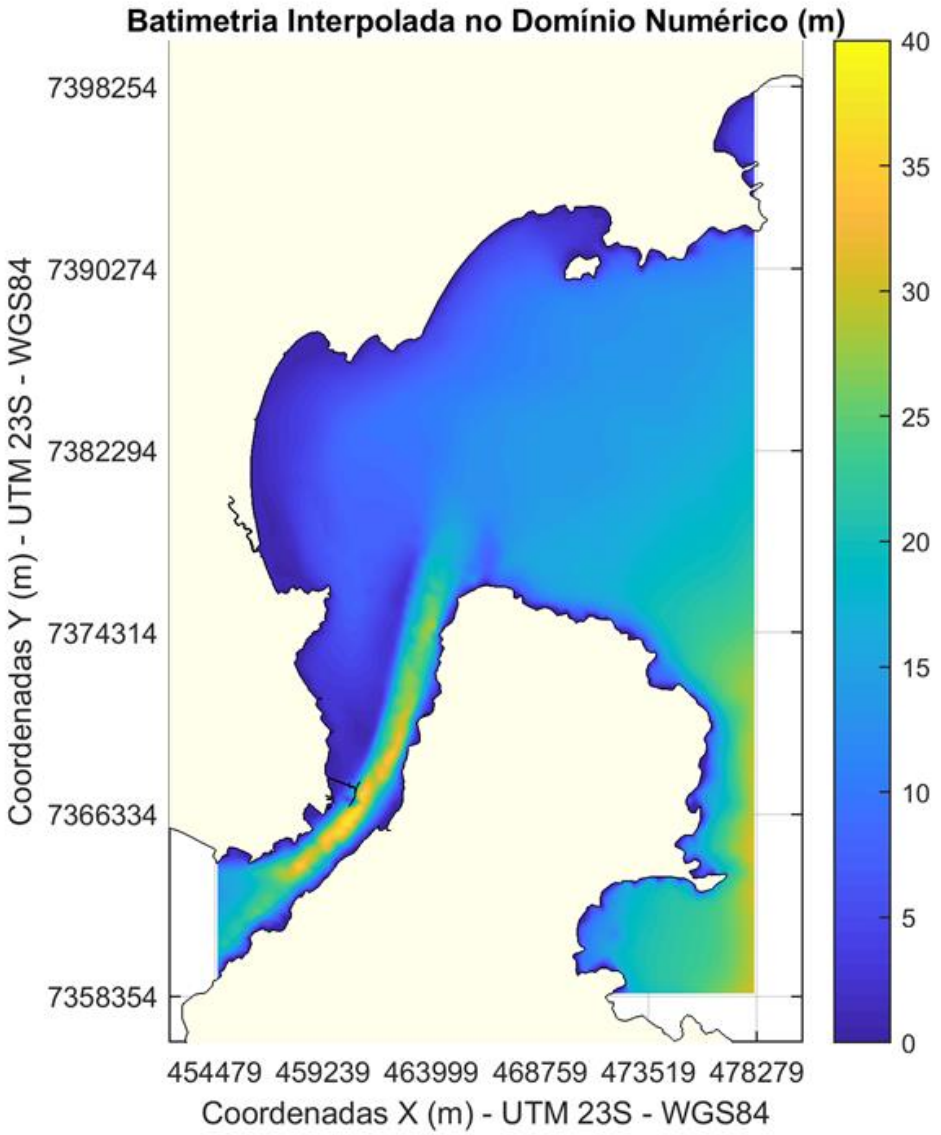


Figura 3.8.3.g. Batimetria interpolada na grade numérica local de propagação de ondas.

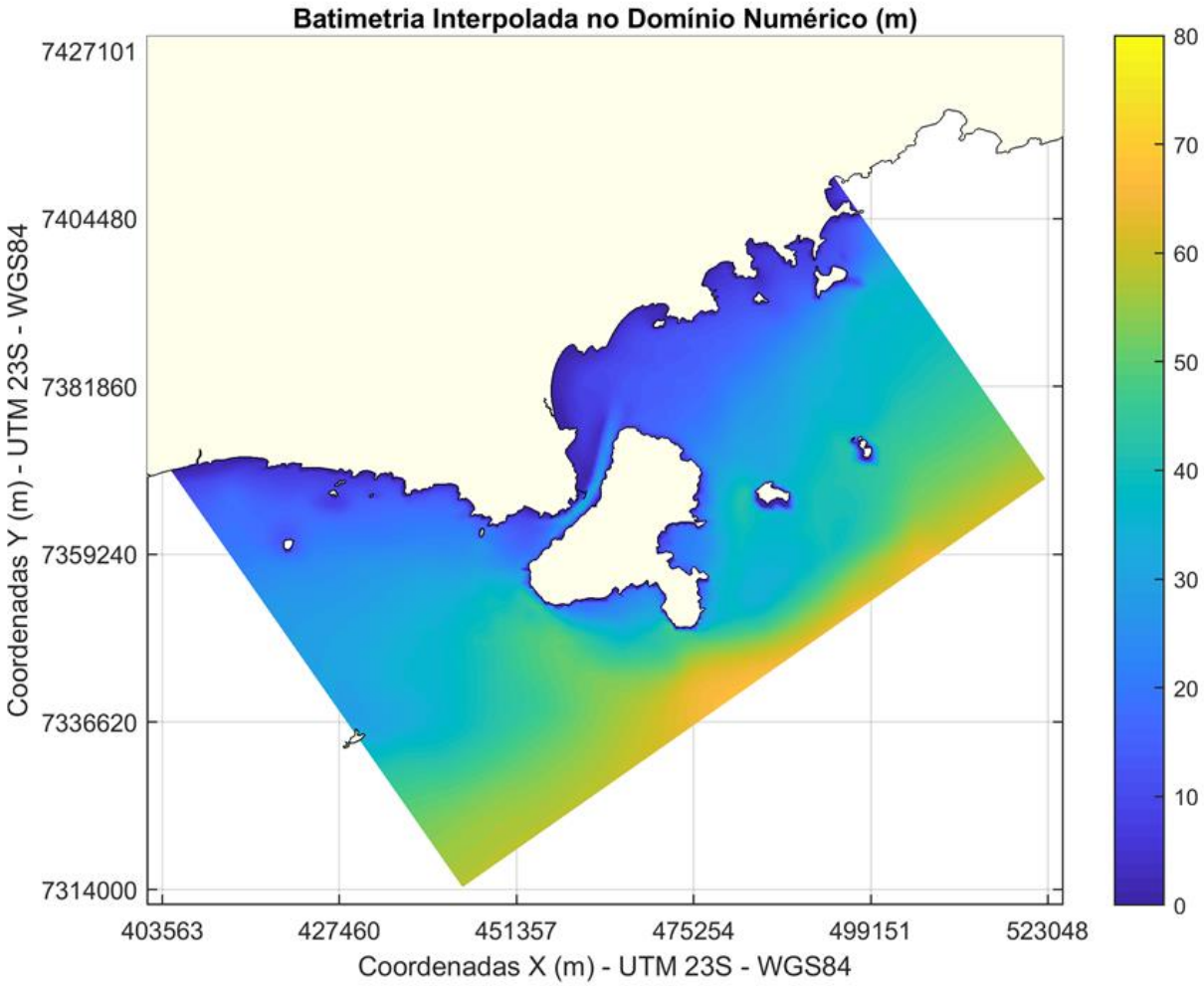


Figura 3.8.3.h. Batimetria interpolada na grade numérica regional do modelo hidrodinâmico.

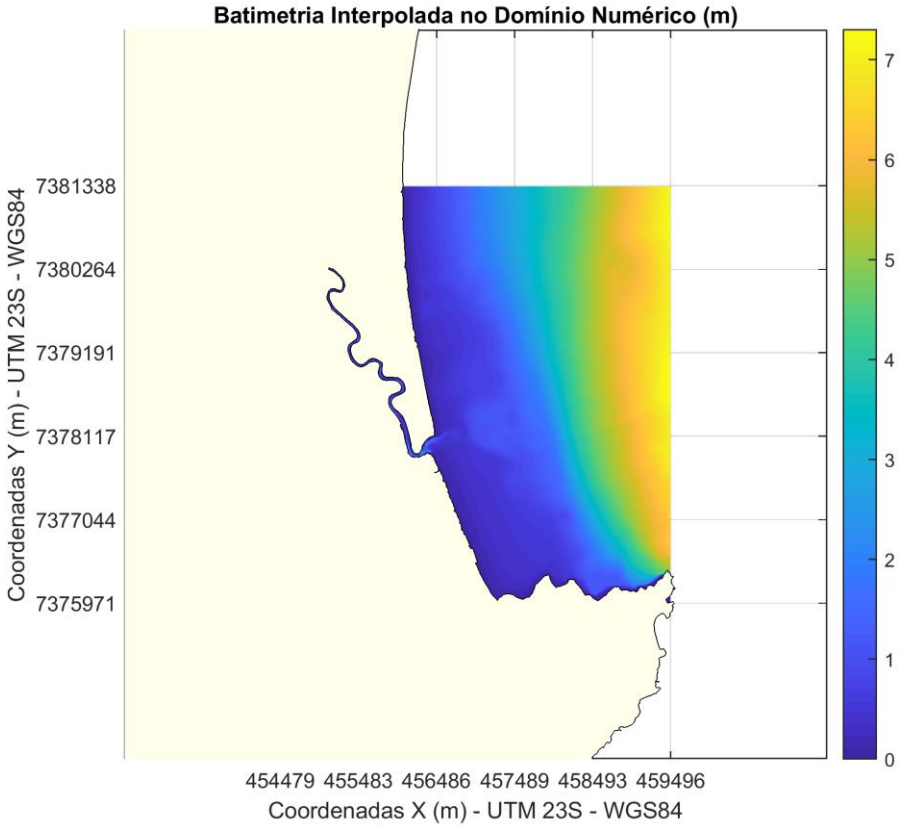


Figura 3.8.3.i. Batimetria interpolada na grade numérica local do modelo hidrodinâmico.

3.8.3.3. Condições de Contorno

As condições de contorno naturais do modelo são dadas pela velocidade normal nula nos contornos terrestres. Na superfície livre, além das condições dinâmicas locais (MELLOR & YAMADA, 1982), é também considerada a tensão de cisalhamento do vento. Opcionalmente, fluxos de calor e sal (evaporação) podem ser incluídos. No fundo, são aplicadas as condições dinâmicas descritas em Mellor & Yamada (op. cit.).

A velocidade de arrasto é calculada como uma função empírica da energia cinética turbulenta, por sua vez decorrente do fechamento turbulento de segunda ordem.

Nos contornos artificiais foram aplicadas, ao modelo, condições de contorno para a definição do comportamento das propriedades modeladas nos limites oceânicos do domínio estudado. Essas condições de contorno são definidas para elevação da superfície do mar, velocidades do modo externo (2D), velocidades do modo interno (3D), temperatura, salinidade, velocidade vertical e energia cinética turbulenta.

Nas componentes perpendiculares à fronteira são aplicadas condições radiacionais em função da elevação, do tipo $H\overline{U} \pm C_e \eta = BC^2$, onde $C_e = \sqrt{gH}$ é a velocidade de fase da onda que chega ao sistema, η é a elevação do nível do mar e B é um coeficiente empírico. Nos casos da temperatura e da salinidade, disponibiliza-se esquema que permita advecção através da fronteira, condição descrita por:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial x} = 0$$ (Condição análoga aplicada à salinidade)

O sistema de modelos Delft3D possibilita a utilização de contornos abertos. Nesses contornos abertos (ou bordas abertas) podem ser atribuídas condições forçantes (ativa) ou condições radiacionais (passivas). Quando são aplicadas

forçantes nas bordas abertas, pode se utilizar séries temporais ou valores constantes para diferentes variáveis pertinentes ao sistema estudado.

Para as simulações numéricas foram considerados grades numéricas regionais e locais, tanto para os modelos hidrodinâmicos quanto para o modelo de propagação de ondas.

O modelo hidrodinâmico regional considerou três fronteiras abertas nas quais foram utilizadas como forçantes séries de nível compostas pelo nível astronômico (extraídos do modelo global de maré TPXO) somado ao nível meteorológico do CFSR (Climate Forecast System Reanalysis).

Como condições de ventos foram usados os dados de vento descrito anteriormente. O modelo hidrodinâmico local, por sua vez, foi forçado com os resultados de nível do modelo regional.

Para o modelo de propagação de ondas também foram utilizadas duas grades numéricas, conforme descrito anteriormente. O modelo regional foi forçado com os dados de onda também já descritos. O modelo local usou como dados de entrada os resultados da grade regional.

3.8.3.4 Avaliação da modelagem

A metodologia de validação utilizada fundamenta-se na avaliação da modelagem quanto à sua capacidade de reprodução da circulação hidrodinâmica na região em estudo. Com este intuito são apresentadas comparações entre resultados da modelagem hidrodinâmica e as séries de dados coletados na região de interesse.

A comparação entre os resultados da modelagem e os dados foi quantificada através do índice de concordância. Esse índice, proposto por Willmott & Wicks (1980) (apud WILLMOTT, 1982), é definido por:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(\text{dado}_i - \text{modelo}_i \right)^2}{\sum_{i=1}^{n} \left(\left| \text{modelo}_i - \overline{\text{dado}} \right| + \left| \text{dado}_i - \overline{\text{dado}} \right| \right)^2} \right]$$

Onde: $\overline{dado}$ = média do dado.

Segundo os autores para valores de d >> 0,5 a modelagem apresenta uma significativa redução de erros e o valor ideal de d é 1 (um).

3.8.3.5 Avaliação da Maré

Para a avaliação da modelagem hidrodinâmica, com relação à variável elevação da superfície livre, na Enseada de Caraguatatuba, utilizou-se os valores da série obtida durante a campanha de 23 janeiro a 18 de fevereiro de 2018, já apresentada anteriormente.

As séries temporais de elevação de superfície para os dados observados e para os resultados do modelo, referentes ao período de calibração, são apresentadas na Figura 3.8.3.j. A série temporal dos dados coletados foi plotada em azul, enquanto que a série temporal resultante da modelagem hidrodinâmica foi plotada em vermelho.

Os resultados apresentados enfatizam que o modelo representa a elevação da superfície livre no interior da Enseada de Caraguatatuba de forma satisfatória, condizente com a realidade, conforme indicado pelo IOA de 0,95. Tanto os padrões astronômicos de oscilação típicos de maré semi-diurna quanto as oscilações de baixa frequência devido à passagem de frentes frias. As principais diferenças entre os dados simulados e os dados medidos são devido ao efeito do vento na região.

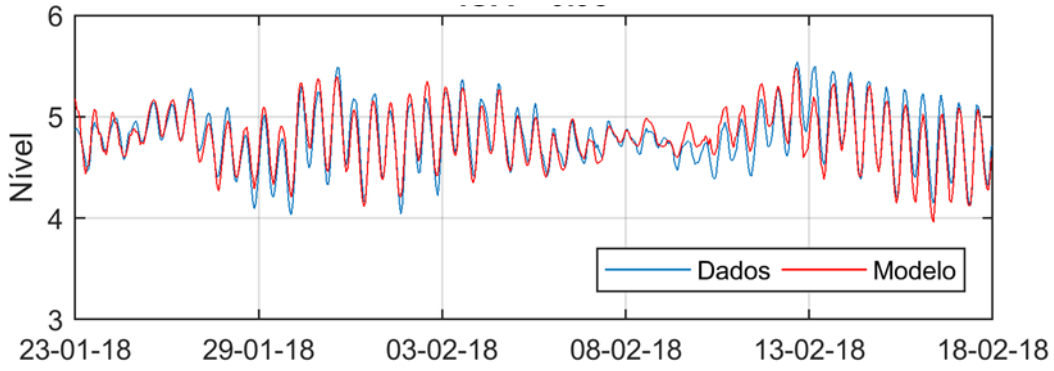


Figura 3.8.3.j. Séries temporais de elevação de superfície do mar (m).

3.8.3.6. Avaliação das Correntes

Para a avaliação com relação às correntes, utilizou-se as séries de dados apresentadas anteriormente. A Figura 3.8.3.k apresenta, na forma de histogramas direcionais, uma comparação das correntes calculadas pelo modelo (direita) com os dados medidos no ponto do ADCP (esquerda) para o período de amostragem. Para a comparação foram adotadas as velocidades médias na coluna d'água.

A comparação dos histogramas direcionais mostra que o padrão de circulação representado pela modelagem hidrodinâmica corresponde ao padrão observado na região.

Nota-se que o modelo representou a predominância do fluxo orientado para SE com velocidades da mesma ordem de grandeza e distribuição semelhante.

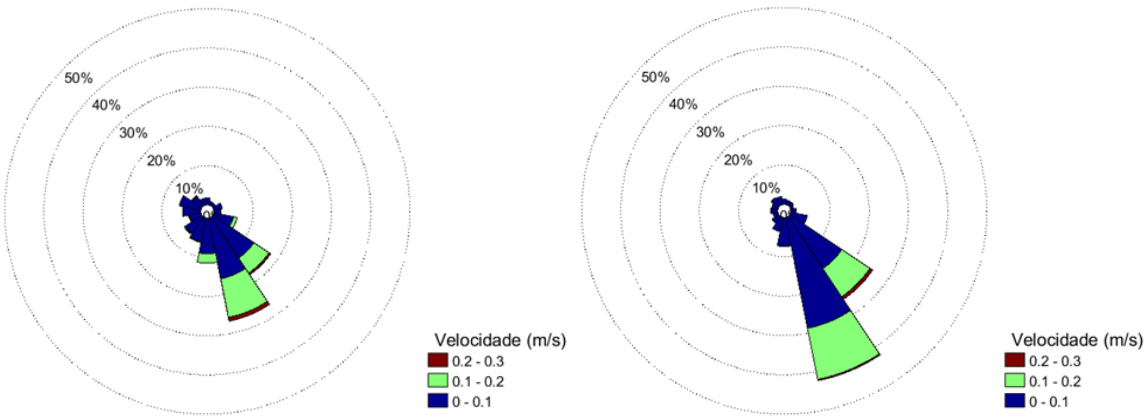


Figura 3.8.3.k Histogramas direcionais das correntes do conjunto de dados medidos em campo (esquerda) e das correntes calculadas pelo modelo hidrodinâmico (direita).

Como forma de avaliar a evolução das correntes ao longo do tempo são apresentados os stickplots dos dados medidos (Figura 3.8.3.l) e dos resultados obtidos no modelo (Figura 3.8.3.m).

Os padrões são semelhantes, com predominância de correntes para SE. Entretanto, o dado coletado apresenta algumas inversões de correntes que não foram reproduzidas pelo modelo.

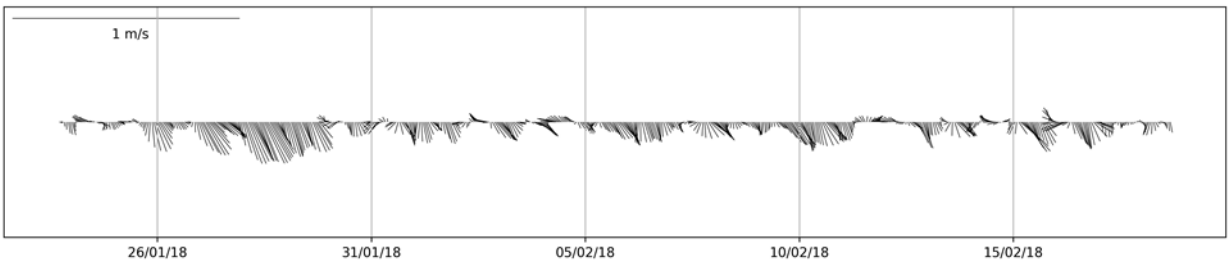


Figura 3.8.3.l. Stickplot do padrão de correntes medidas. Os vetores indicam o sentido do fluxo de correntes.

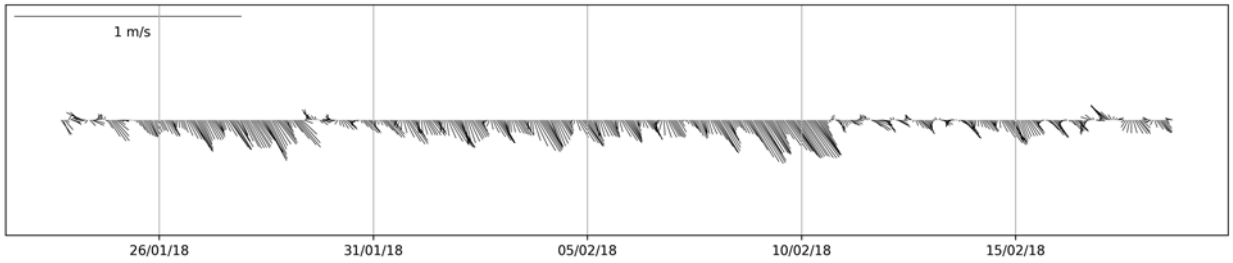


Figura 3.8.3.m. Stickplot do padrão de correntes simuladas. Os vetores indicam o sentido do fluxo de correntes.

A Figura 3.8.3.n apresenta a comparação entre as séries temporais das componentes de velocidade do conjunto de dados medidos e as componentes de velocidade dos resultados do modelo.

Foram calculados índices de concordância (IOA) de 0,65 para a componente U e 0,60 para a componente V. Os padrões de oscilação devido a maré tem suas magnitudes e inversões representadas pelo modelo. Entretanto, as oscilações

causadas pelo vento mostram-se mais difíceis de se representar, pois não forma levantados dados medidos no local.

Figura 3.8.3.n. Séries temporais das componentes de velocidade U (acima) e V (abaixo) do modelo (vermelho) comparativamente com as componentes do conjunto de dados medidos em campo (azul).

É possível afirmar que os resultados de corrente provenientes do modelo numérico estão calibrados, uma vez que apresentam similaridade no padrão e intensidades das correntes medidas na Enseada de Caraguatatuba.

3.8.3.7. Avaliação das Ondas

Para a avaliação com relação às ondas, utilizou-se as séries de dados apresentadas no respectivo item. A Figura 3.8.3.o apresenta na forma de histogramas direcionais (direção média), uma comparação das Hs (altura significativa) calculadas pelo modelo com os dados medidos no ponto do ADCP para o período entre 23 de janeiro e 18 de fevereiro de 2018.

A comparação dos histogramas direcionais mostra que o padrão de incidência de ondas representado pela modelagem numérica corresponde ao padrão observado na região. Nota-se que o modelo representou a predominância de ondas de ENE, com as maiores magnitudes atingindo 0,6m.

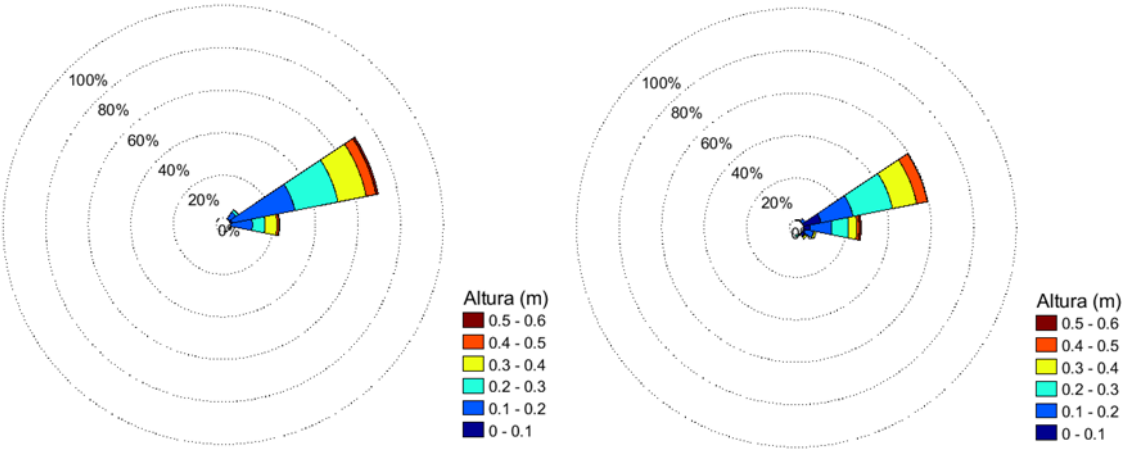


Figura 3.8.3.o. Histogramas direcionais de Hs do conjunto de dados medidos (esquerda) e das ondas calculadas pelo modelo de ondas (direita).

A Figura 3.8.3.p apresenta a comparação entre as séries temporais de altura significativa de onda do conjunto de dados medidos e a série de altura significativa resultante do modelo.

O IOA calculado foi de 0,89. Os padrões de evolução da Hs na enseada são representados de forma satisfatória pelo modelo. Entretanto, o modelo não foi capaz de reproduzir algumas oscilações causadas por ação do vento local.

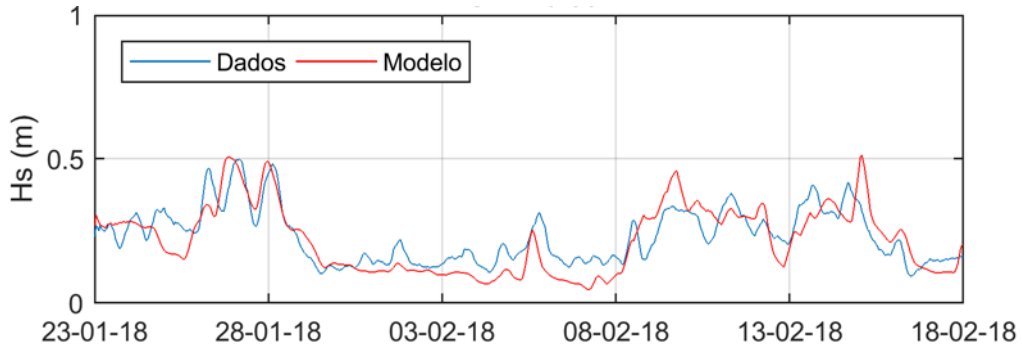


Figura 3.8.3.p Séries temporais das componentes de Hs do modelo (vermelho) comparativamente com Hs do conjunto de dados medidos (azul).

A Figura 3.8.3.q apresenta, na forma de histogramas direcionais (direção média), uma comparação dos períodos médios calculados pelo modelo com os dados medidos no ponto do ADCP para o período entre 23 de janeiro e 18 de fevereiro de 2018.

A comparação dos histogramas direcionais mostra que o padrão de incidência de ondas representado pela modelagem numérica corresponde ao padrão observado na região. Entretanto, o modelo tende a subestimar os períodos médios. Nota-se que o modelo representou a predominância de ondas de ENE, com período médio na faixa de 2 a 4 segundos, enquanto que nos dados os registros indicam a predominância de ondas da mesma direção alcançando até 10s de período.

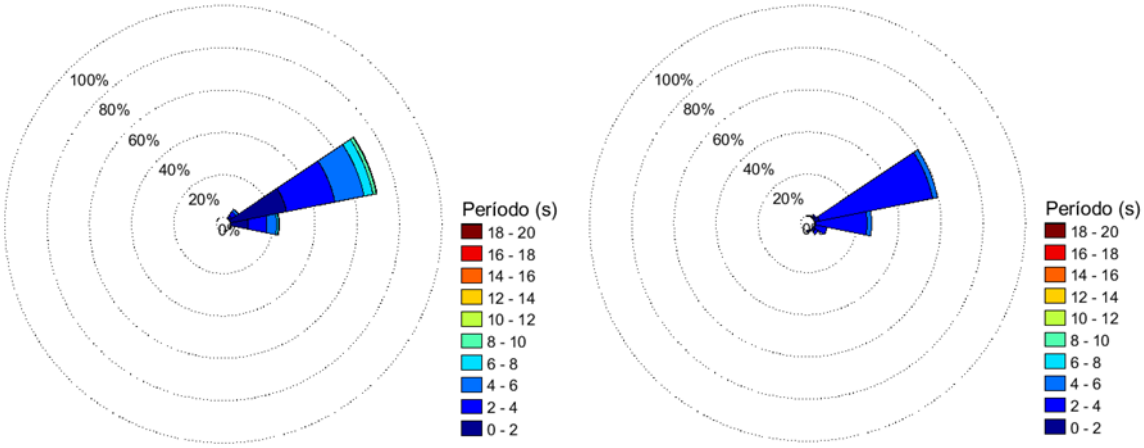


Figura 3.8.3.q Histogramas direcionais de ondas do conjunto de dados medidos (esquerda) e das ondas calculadas pelo modelo de ondas (direita).

A Figura 3.8.3.r apresenta a comparação entre as séries temporais de período médio de onda do conjunto de dados medidos (azul) e a série de altura significativa resultante do modelo (vermelho). O IOA calculado foi de 0,43, uma vez que modelo tende a subestimar os valores de período médio.

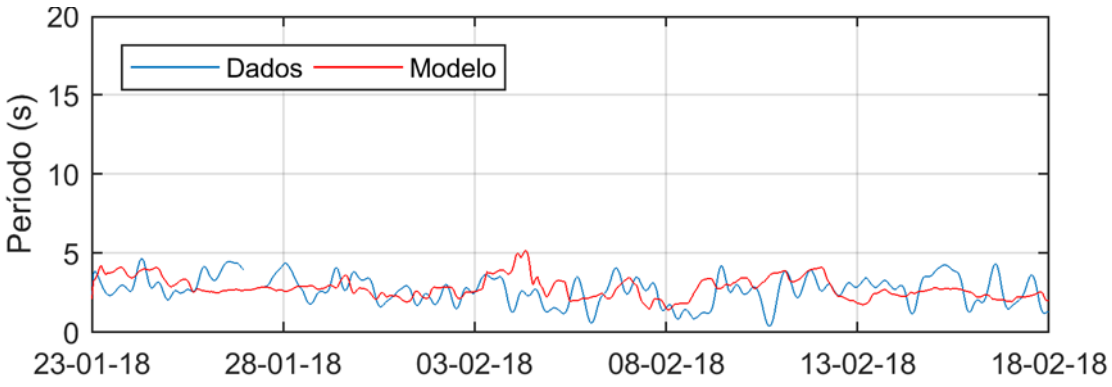


Figura 3.8.3.r. Séries temporais das componentes de período médio (Tm) do modelo (vermelho) comparativamente com Tm do conjunto de dados medidos (azul).

Vale ressaltar que todos os índices aqui apresentados confirmam a capacidade dos modelos numéricos em reproduzir de forma geral o padrão de direção e intensidade das correntes, bem como a magnitude, direção e período do tipo de onda predominante.

A validação numérica para o período de inverno foi prejudicada por conta do furto do equipamento utilizado para aquisição de dados. Entretanto, com o objetivo de avaliar a capacidade dos modelos numéricos implementados na região sudeste do Brasil em reproduzir a sazonalidade da região, foi realizada uma comparação dos resultados obtidos pela modelagem numérica com os dados públicos disponíveis pela GOOS-Brasil.

O intuito neste caso é de salientar que os dados utilizados como forçantes do presente estudo já estavam validados, e representam de forma fiel as condições oceanográficas da região.

O GOOS-BRASIL é um sistema nacional de observação dos oceanos visando a coleta, controle de qualidade, distribuição operacional de dados oceanográficos e monitoramento oceanográfico e climatológico no Atlântico Sul e tropical.

Os dados de ondas foram retirados do PNBOIA (Programa Nacional de Boias), que são informações provenientes de boias fundeadas ao longo da costa brasileira, pertencentes ao projeto GOOS-BRASIL.

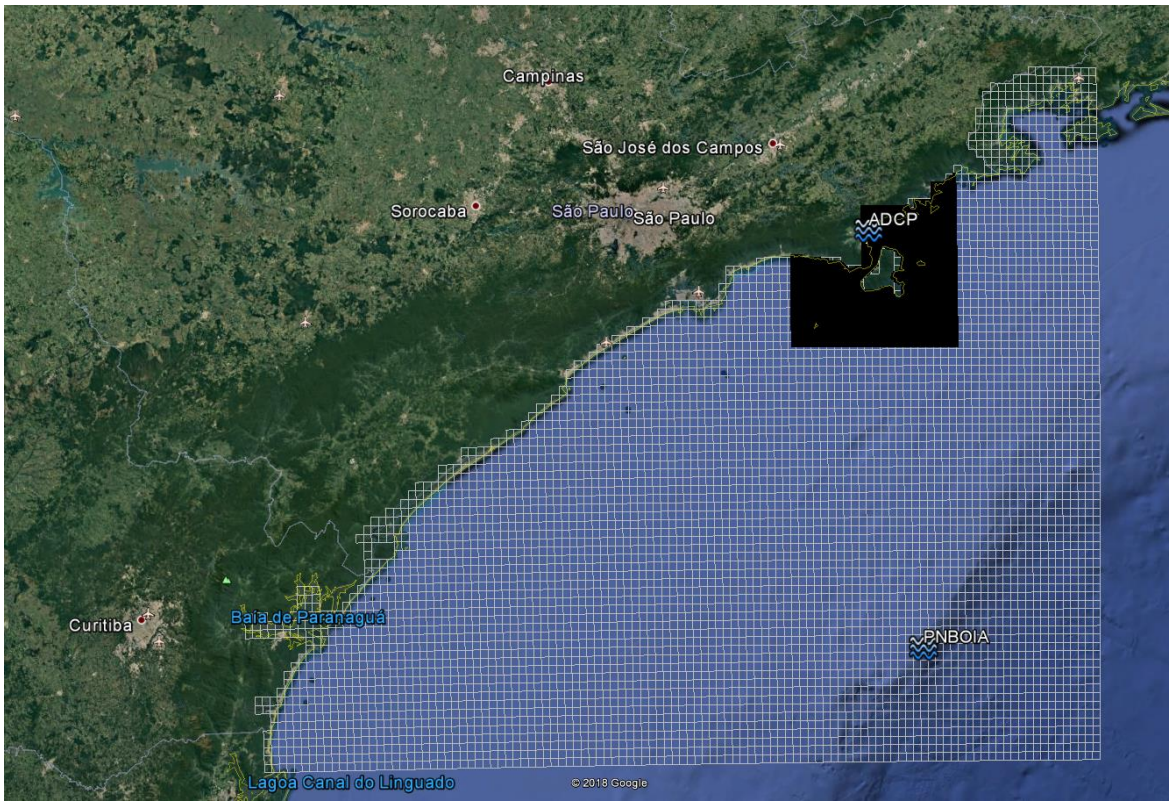


Figura 3.8.3.s - Grade numérica implementada na região sudeste do Brasil e utilizada como forçante da modelagem de ondas (cinza), e grade utilizada na modelagem de ondas do atual estudo (preto).

Primeiramente é apresentado a validação do modelo regional Wavewatch III (WW3) para o ano de 2015 nas coordenadas 25,7°S; 45,14°W.

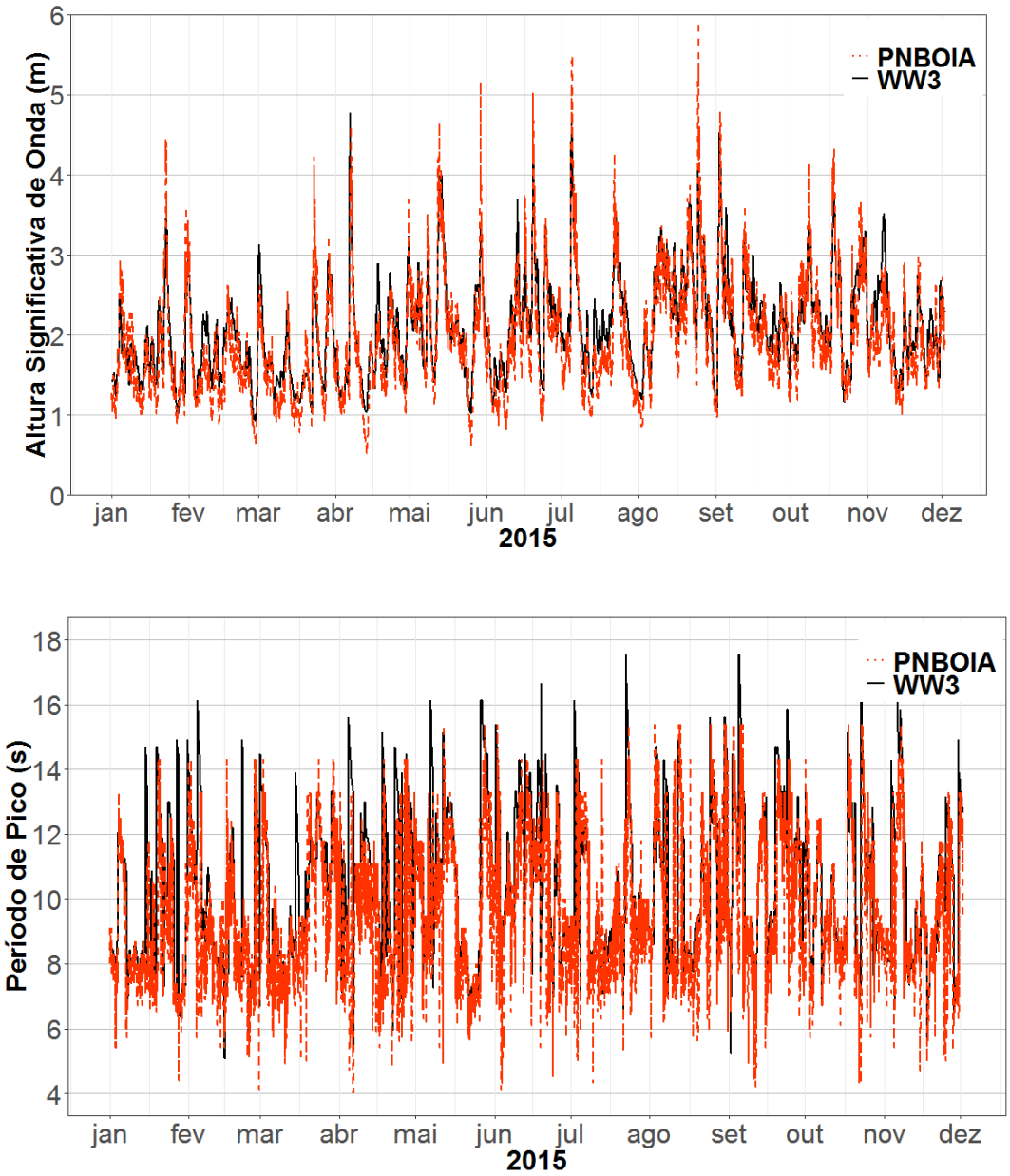


Figura 3.8.3.t - Comparação entre as séries de altura significativa, em metros, (painel superior), e período de pico em segundos, (painel inferior) obtidas pelo PNBOIA e o modelo regional do WW3 implementado na região sudeste do Brasil.

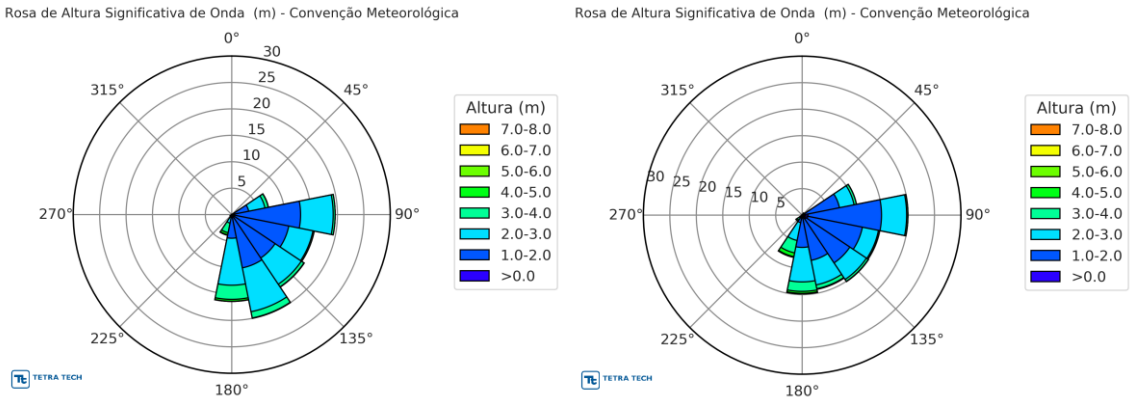


Figura 3.8.3.u - Rodas direcionais de altura significativa, em metros, e direção média das ondas obtidas pelo PNBOIA (painel à direita) e pelo modelo regional do WW3 implementado na região sudeste do Brasil (painel à esquerda).

Além disso, também foram utilizados os dados para comparação estão localizados nas coordenadas 25,7°S; 45,14°W. O período utilizado para comparação dos dados referente ao verão foi próximo ao período das coletas do ADCP na região, 20 de janeiro a 20 de fevereiro de 2018, enquanto que o período de inverno foi entre 08 de agosto de 2018 e 17 de setembro de 2018. Tais datas foram selecionadas em função da disponibilidade dos dados do PNBOIA.

Para comparação com este conjunto de dados foi utilizado resultados do modelo numérico em área offshore, extraídos na localidade do dado (25,7°S; 45,14°W), e que foi utilizando como forçando do estudo aqui apresentado.

A Figura 3.8.3.v apresenta as séries temporais de altura significativa, período e direção da onda do conjunto de dados disponibilizados pelo PNBOIA e das respectivas resultantes do modelo para o período de verão. Apesar da distância entre o local do PNBOIA e o local de estudo, a boa concordância com os dados locais para o período de verão, permite considerar que a transferência entres os sinais de meso-escala e escala local estão sendo realizadas corretamente. A extrapolação dos resultados no espaço e no tempo é sempre possível, sendo esta uma das vantagens da utilização de ferramentas numéricas.

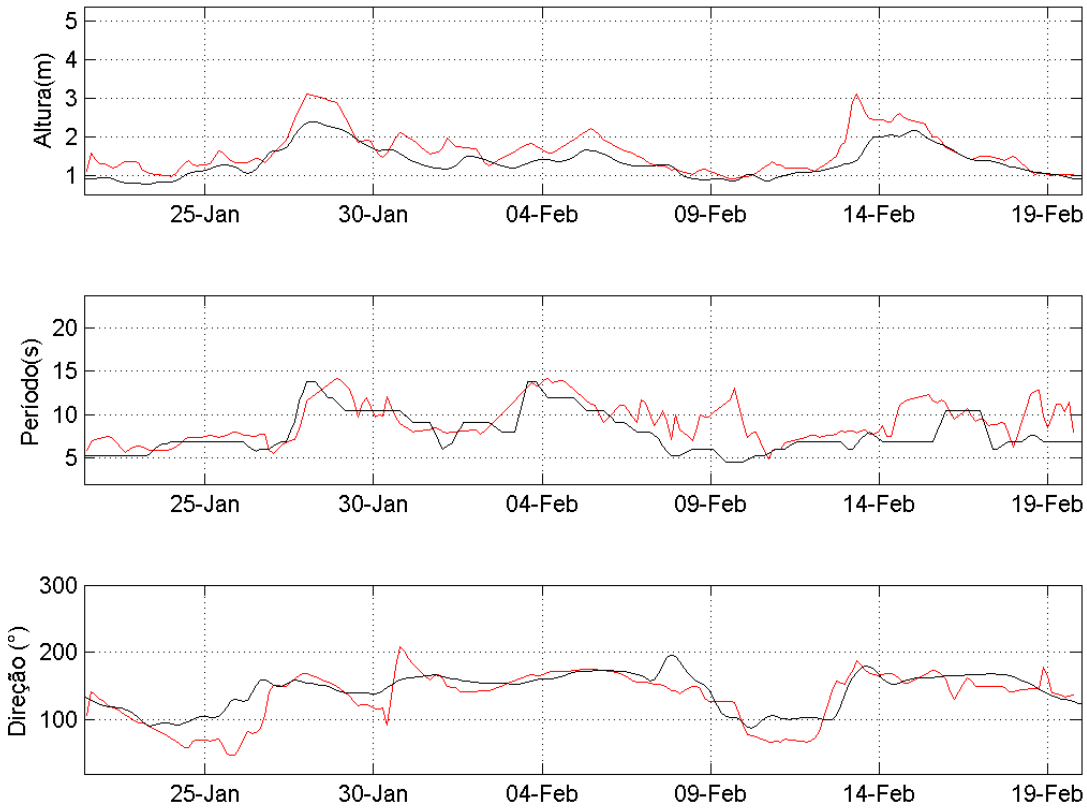


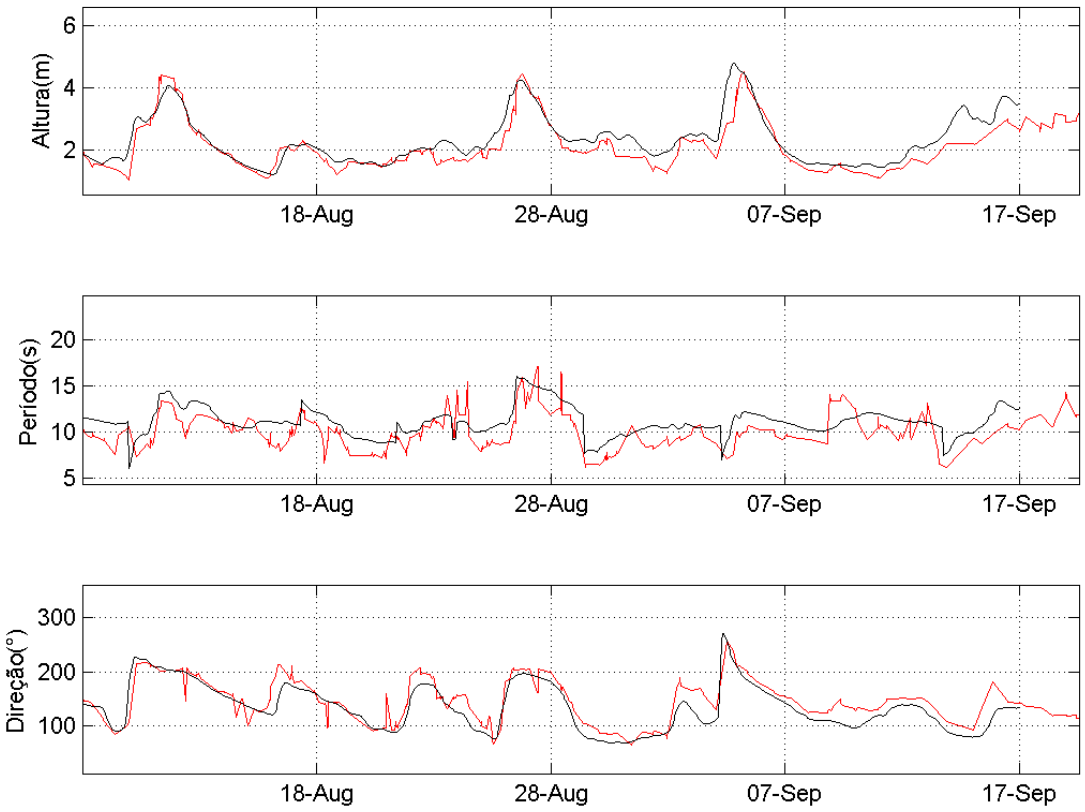
Figura 3.8.3.v Séries temporais das componentes de altura significativa (painel superior), de período de pico (painel central) e direção média (painel inferior) e do modelo (preto) comparativamente com o conjunto de dados disponibilizados pelo PNBOIA (vermelho) no período de verão de 2018.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta as séries temporais de altura significativa, período e direção da onda do conjunto de dados disponibilizados pelo PNBOIA e das respectivas resultantes do modelo para o período de inverno de 2018.

Os resultados mostram que apesar da ausência de dados medidos no período de inverno em função do ocorrido, o modelo implementado representa de forma fiel as características oceanográficas offshore, e que foram propagadas até a zona de estudo.

As comparações aqui apresentadas ressaltam que apesar da ausência de dados levantados no período de inverno, todas as bases de dados utilizadas como forçantes das modelagens numéricas, são calibradas e validadas com dados

medidos, e representam de forma satisfatória as condições oceanográficas da região de estudo, tanto em área offshore, como na área de estudo.



Erro! Fonte de referência não encontrada.- Séries temporais das componentes de altura significativa (painel superior), de período de pico (painel central) e direção média (painel inferior) e do modelo (preto) comparativamente com o conjunto de dados disponibilizados pelo PNBOIA (vermelho) no período de inverno de 2018.

3.8.4. Modelagem Numérica SMC

O sistema de modelos numéricos Sistema de Modelado Costeiro (SMC) foi selecionado como uma das ferramentas para se atingir os objetivos propostos neste estudo.

O Sistema de Modelado Costero (SMC) é uma interface gráfica que faz parte do projeto intitulado Modelo de Ayuda a la Gestión del Litoral (Modelo de Ajuda à Gestão do Litoral), projeto desenvolvido pelo Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas (G.I.O.C.) da Universidad de Cantabria, para a Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente espanhol.

O objetivo básico do SMC é proporcionar uma ferramenta numérica no campo da engenharia de costas, que facilite aos técnicos a elaboração de estudos passo a passo, aplicando as metodologias de trabalho propostas nos Documentos Temáticos. Procura-se, mediante a unificação de critérios técnicos e a organização sistemática dos modelos numéricos, que os técnicos incrementem a qualidade de seus estudos e, portanto, a confiabilidade de suas decisões.

Conforme citado anteriormente, o SMC agrupa uma série de modelos numéricos, os quais se encontram estruturados para desenvolver, de forma metódica, as atuações propostas dentro dos Documentos Temáticos (G.I.O.C, 2000), e mais especificamente organizados de acordo com as escalas temporais e espaciais dos processos a serem modelados.

O SMC foi estruturado em cinco módulos fundamentais: “Pré-processamento”, “Curto prazo”, “Médio e largo prazo”, “Modelagem de terreno” e “Tutor” (Figura 3.8.4.a). O módulo de “Pré-processamento” fundamentalmente permite caracterizar e processar informação de entrada para os diferentes modelos numéricos. O módulo de “Análise a curto prazo de praias” (Acordes) recorre às ferramentas numéricas que permitem analisar a morfodinâmica de um sistema costeiro, em uma escala espaço/temporal de curto prazo (Documento Temático Regeneración de Playas, G.I.O.C (2000).

Da mesma forma, dentro do módulo de “Análise a largo prazo de praias” (Arpa) aparecem as ferramentas morfodinâmicas que permitem modelar o sistema em uma escala temporal e espacial de médio e largo prazo. O módulo de “Modelagem de terreno” permite modificar os contornos do fundo (batimetria) e laterais (costões rochosos, diques naturais e artificiais, etc.), o qual é fundamental para estudar diferentes cenários dentro de um projeto. Finalmente, se encontra o “Tutor de Engenharia de Costas” (Tic), o qual se executa dentro do SMC como apoio teórico, conceitual e de informação básica para os diferentes modelos numéricos do sistema.

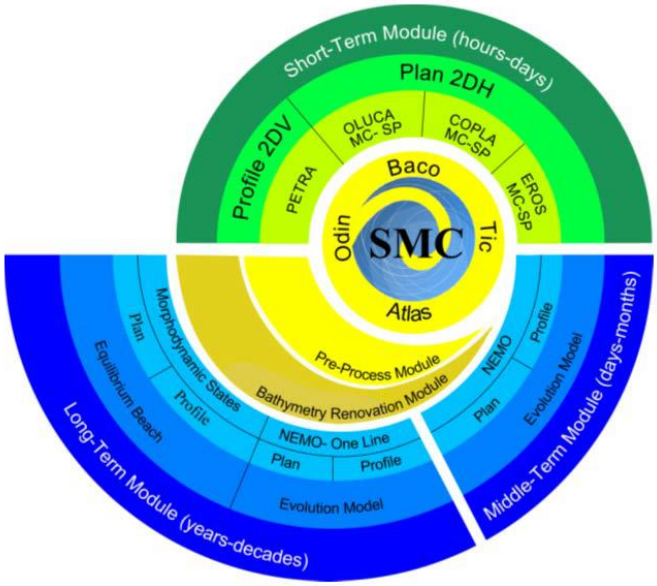


Figura 3.8.4.a: Representação esquemática do Sistema de Modelado Costero (SMC).

3.8.5. Modelagem de Ondas

Para o estudo de propagação de ondas em águas rasas, foi utilizado o modelo Oluca-SP, desenvolvido pelo Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas (GIOC) de la Universidad de Cantabria, cujo código é baseado no modelo REF-DIF, desenvolvido por Kirby e Dalrymple (1982), na Universidade de Delaware (G.I.O.C., 1999), que considera os processos de difração das ondas de forma muito detalhada. Trata-se de um modelo muito utilizado quando se deseja representar condições hidrodinâmicas em águas rasas.

O Oluca-SP é um modelo espectral não dispersivo que resolve a fase (MRF) mediante a aproximação parabólica da equação de declividades suaves (mild slope equation). Requer como entrada no contorno exterior, um estado de mar direcional, representado por um espectro bidimensional discretizado em componentes frequenciais e direcionais, as quais são propagadas de maneira simultânea.

O modelo discretiza o espectro de entrada fora da costa, em um número de seções de energia, às quais se associam componentes de ondas com amplitude, frequência e direção. A propagação de cada componente de energia permite, mediante superposição linear, obter as características estatísticas do espectro em cada ponto do domínio modelado.

Equação de declividades suaves (“mild slope equation”)

O problema da propagação de ondas sobre batimetria irregular é tridimensional e envolve complicadas condições de contorno não-lineares. Por este motivo, existem poucas soluções para o problema tridimensional e todas elas são para fundo plano. Em duas dimensões, os sofisticados modelos de Chu e Mei (1970) e Djordjevic e Redekopp (1978) predizem o comportamento de ondas de Stokes sobre batimetria com variação suave. Para a simplificação do problema tridimensional, Berkhoff (1972), entre outros, fez notar que a maior parte das propriedades das ondas progressivas lineares poderiam ser previstas mediante um modelo ponderado integrado verticalmente (G.I.O.C., 1999).

A equação que chegou Berkhoff (1972) é conhecida como "mild slope equation", ou seja, equação de declividades suaves. A equação pode ser escrita em função do deslocamento da superfície livre (x,y), mediante a utilização de um operador de gradiente horizontal como:

$$\vec{\nabla}\left(c\, c_g \vec{\nabla}\eta\right) + \sigma^2 \frac{c_g}{c}\eta = 0 \qquad (1)$$

onde:

$$\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x_j} \quad j = 1, 2 \qquad (2)$$

$c = \sqrt{\left(\frac{g}{k}\right)\tan h\ kh}$ = Celeridade da onda

$c_g = c\frac{\left(1+\frac{2kh}{\sin h\, 2kh}\right)}{2}$ = Celeridade de grupo

h(x,y) é a profundidade local da água, e g a aceleração da gravidade. O número de onda local k(x,y), está relacionado com a frequência angular, , e a profundidade, h, mediante a relação de dispersão linear:

$$\sigma^2 = gk \tan h\ kh \qquad (3)$$

O perfil da onda vem dado por:

$$\eta = A(x, y)e^{i\sigma t} \qquad (4)$$

Onde: A(x,y) é a amplitude complexa com informação sobre a fase e a amplitude real da onda.

Segundo G.I.O.C. (1999), Berkhoff (1972) foi o primeiro a obter uma equação de propagação para ondas de pequena amplitude em zonas com profundidade suavemente variável. Posteriormente, esta equação se ampliou para incluir também os efeitos de correntes desenvolvidos por Booij (1981) e Kirby (1983).

Foram utilizados diferentes métodos matemáticos para obter as equações para declives suaves. Enquanto Luke (1967), Booij (1981) e Kirby (1983) utilizaram um princípio variacional, outros autores aplicaram o método das perturbações.

Numerosos autores vêm aplicando a equação de declividades suaves a diversos casos, principalmente utilizando técnicas de diferenças finitas como, por exemplo, Jonsson e Skovgaard (1979), Bettes e Zienkiewicz (1977), e Houston (1981) apud G.I.O.C. (2000).

Radder (1979) desenvolveu para a equação de declividades suaves uma aproximação parabólica que tem várias vantagens sobre a forma elíptica apresentada por Berkhoff (1972).

Primeiro, não são necessárias as condições de contorno no extremo inferior do domínio de integração e, segundo, permite técnicas de resolução muito eficientes por meio de um modelo em diferenças finitas.

Radder (1979) utilizou uma técnica de partição de matrizes, que implica na separação do campo de ondas em uma onda propagando-se para frente e outra para trás, ignorando-se posteriormente esta segunda (o que se justifica porque na maioria das aplicações só se tem interesse na onda que se propaga para frente).

A aproximação de Radder (1979) para as derivadas transversais na direção normal à de propagação, impõe uma restrição a seu modelo parabólico: as ondas devem se propagar dentro dos ± 45º ao redor da direção principal de propagação. Booij (1981) desenvolveu também um método para a partição da matriz da equação elíptica, mas seu procedimento inclui mais termos na aproximação das derivadas transversais e, portanto, seu método permite ao modelo parabólico manejar ondas dentro do range de ± 55º ao redor da direção suposta. Este procedimento de Booij é o que se utiliza no modelo de ondas monocromático Oluca-RD e no modelo espectral Oluca-SP (G.I.O.C, op. cit.).

A aproximação parabólica debilmente não linear da equação de declividades suaves vem dada por:

$$c_g \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial y} + i(\bar{k} - k) c_g A + \frac{\sigma}{2} \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{c_g}{\sigma}\right) A$$
$$- \frac{i}{2\sigma} \frac{\partial}{\partial y}\left[p \frac{\partial A}{\partial y} \right] - i\sigma k^2 D |A|^2 \frac{A}{2} = 0 \qquad (5)$$

onde

p = $c\, c_g$

$\bar{k}$ = Número de onda de referência, tomado como a média ao longo do eixo y.

D = Forma parte do termo não linear e se define como:

$$D = \frac{(\cosh 4\,kh + 8 - 2\tanh^2 kh)}{8\,sen h^4 (kh)} \qquad (6)$$

3.8.6. Modelagem de Correntes

O programa Copla-SP resolve numericamente as equações do movimento a partir do período de ondas integradas na vertical. Calcula as variações dos tensores de radiação como agentes impulsores das correntes a partir dos resultados do programa Oluca-SP, permitindo também incorporar o vento ou a maré como agentes impulsores.

O modelo bidimensional de correntes em praias é deduzido a partir das equações de Navier-Stokes. Integram-se estas equações na profundidade e em um período de tempo, num sistema de coordenadas localizado ao nível médio do mar (x = direção transversal à praia; y = direção longitudinal à praia; z = direção vertical). Segundo as hipóteses anteriormente citadas, obtêm-se as seguintes equações de continuidade e quantidade de movimento.

Continuidade:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial (UH)}{\partial x} + \frac{\partial (VH)}{\partial y} = 0 \qquad (7)$$

Momentum:

Direção x (transversal à praia):

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U\frac{\partial U}{\partial x} + V\frac{\partial U}{\partial y} + g\frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{1}{\rho H}\frac{\partial}{\partial x}(S_{xx}) +$$

$$\frac{1}{\rho H}\frac{\partial}{\partial y}(S_{xy}) + \frac{gU}{C^2 H}(U^2 + V^2)^{1/2} - \varepsilon\left[\left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right) + \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2}\right)\right] = 0 \quad (8)$$

Direção y (longitudinal à praia):

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U\frac{\partial V}{\partial x} + V\frac{\partial V}{\partial y} + g\frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{1}{\rho H}\frac{\partial}{\partial x}(S_{xy}) +$$

$$+ \frac{1}{\rho H}\frac{\partial}{\partial y}(S_{yy}) + \frac{gV}{C^2 H}(U^2 + V^2)^{1/2} - \varepsilon\left[\left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}\right) + \left(\frac{\partial^2 V}{\partial y^2}\right)\right] = 0 \quad (9)$$

onde:

$$H = \eta + h \quad (10)$$

$$S_{xx} = \frac{1}{T}\int_{t}^{t+T}\int_{-h}^{\eta}(\rho u^2 + p)\,dz\,dt - \frac{1}{T}\int_{t}^{t+T}\int_{-h}^{0} p_0\,dz\,dt \quad (11)$$

$$S_{yy} = \frac{1}{T}\int_{t}^{t+T}\int_{-h}^{\eta}(\rho v^2 + p)\,dz\,dt - \frac{1}{T}\int_{t}^{t+T}\int_{-h}^{0} p_0\,dz\,dt \quad (12)$$

$$V = \frac{1}{T}\int_{t}^{t+T}\int_{-h}^{\eta} v(x,y,z,t)\,dz dt \quad (13)$$

$$S_{xy} = \frac{1}{T}\int_{t}^{t+T}\int_{-h}^{\eta}\rho uv\,dz\,dt \quad (14)$$

$$\eta = \frac{1}{T}\int_{t}^{t+T}\eta(x,y,t')\,dt' \quad (15)$$

Tensores de radiação devido à ondulação monocromática (modelo Colpla-MC)

Aplicando a teoria linear de ondas, obtêm-se as expressões para os tensores de radiação à 2º ordem:

$$S_{xx}(x,y) = E\left(n\cos^2\theta + n - \frac{1}{2}\right) \tag{16}$$

$$S_{yy}(x,y) = E\left(n\,sen^2\theta + n - \frac{1}{2}\right) \tag{17}$$

$$S_{xy}(x,y) = E\,sen\theta\cos\theta \tag{18}$$

onde:

$$E = \frac{\rho g H_1^2}{8} \tag{19}$$

$$n = \frac{1}{2}\left[1 + \frac{2kh}{senh\,2kh}\right] \tag{20}$$

$$k = \frac{2\pi}{L} \tag{21}$$

$$U = \frac{1}{T}\int_{t}^{t+T}\int_{-h}^{\eta} u(x,y,z,t)\,dzdt \tag{22}$$

De modo que os tensores de radiação em cada ponto do domínio dependem de H1, T, θ, h, parâmetros obtidos a partir do modelo de propagação de ondas Oluca-MC.

Tensores de radiação devido à ondulação irregular ou espectral (Modelo Copla-SP)

Os tensores de radiação devidos a uma ondulação irregular são calculados com base nos tensores que geram cada uma das componentes de energia. Estas componentes se propagam formando um ângulo em relação ao eixo x e a soma

linear de todas estas em um ponto do domínio determinam as seguintes expressões dos tensores de radiação:

$$S_{xx}(x,y) = \frac{1}{2}\rho g \sum_{j=1}^{N_f}\sum_{l=1}^{N_\theta} \left|A_{jl}\right|^2 \left[n_j (1+\cos^2 \theta_{jl}) - \frac{1}{2} \right] \tag{23}$$

$$S_{yy}(x,y) = \frac{1}{2}\rho g \sum_{j=1}^{N_f}\sum_{l=1}^{N_\theta} \left|A_{jl}\right|^2 \left[n_j \left(1+sen^2 \theta_{jl}\right) - \frac{1}{2} \right] \tag{24}$$

$$S_{xy}(x,y) = \frac{1}{4}\rho g \sum_{j=1}^{N_f}\sum_{l=1}^{N_\theta} \left|A_{jl}\right|^2 n_j sen(2\theta_{jl}) \quad n_j = \frac{1}{2}\left(1+\frac{2K_j h}{senh(2k_j h)}\right) \tag{25}$$

As variáveis dependentes do problema são *η, U, V*, que representam a elevação da superfície livre sobre o nível de referência e as velocidades das correntes promediadas em vertical em um período de tempo nas direções x e y, respectivamente.

As outras variáveis da equação são:

Ajl(x,y) = amplitude para uma componente frenquencial *j* e direcional *l*, em uma ondulação irregular

h = profundidade até o nível de referência

H = profundidade total

j = componente frequencial em uma ondulação irregular

l = componente direcional em uma ondulação irregular

n = relação de celeridade de grupo c_g com a celeridade de fase c

nj = relação de celeridade de grupo c_{gj} com a celeridade c_j da componente frequencial j

t = tempo

T = período da ondulação

Sxx = tensor de radiação atuando no plano x ao longo do eixo x

Sxy = tensor de radiação atuando sobre o plano y ao longo do eixo x (por simetría Sxy=Syx)

Syy = tensor de radiação atuando no plano y e ao longo do eixo y

η(x,y,t) = elevação da superfície livre a partir do nível médio do mar

u = velocidade instantânea na direção x

v = velocidade instantânea na direção y

E = energia da ondulação monocromática

k = número de onda

ki = número de onda associado à componente frequencial j

θ = ângulo do vetor número de onda com o eixo x

θ jl = ângulo do vetor número de onda com o eixo x para uma componente frequencial j e direcional

c = coeficiente de Chézy

ε = coeficiente de "Eddy viscosity"

P = pressão total (dinâmica mais estática)

P0 = pressão estática a partir do nível médio de referência

H_1 = altura de onda

g = aceleração da gravidade

ρ = densidade do fluido.

3.8.7. Discretização do Domínio e da Batimetria

No presente estudo deve-se analisar o comportamento de determinadas variáveis no espaço e no tempo. A metodologia empregada (simulações numéricas) depende diretamente da geometria bi e/ou tridimensional que se pretende analisar.

A seguir, são descritos os procedimentos adotados na consideração desses fatores críticos, e assim, garantir a qualidade do estudo realizado.

Dispor de uma batimetria de boa qualidade é um elemento chave para qualquer estudo referente à dinâmica marinha, já que a propagação das ondas até a costa responde, entre outras coisas, à morfologia do fundo marinho.

Quando se aproximam da costa, as ondas sofrem transformações em função das formas do fundo e por isso, para um melhor desenvolvimento desse estudo, foi necessário caracterizar o clima marítimo em profundidades próximas à costa, onde se utilizou uma batimetria de alta resolução.

As informações batimétricas utilizadas nas simulações já foram descritas anteriormente (Figura 3.8.7.a.).

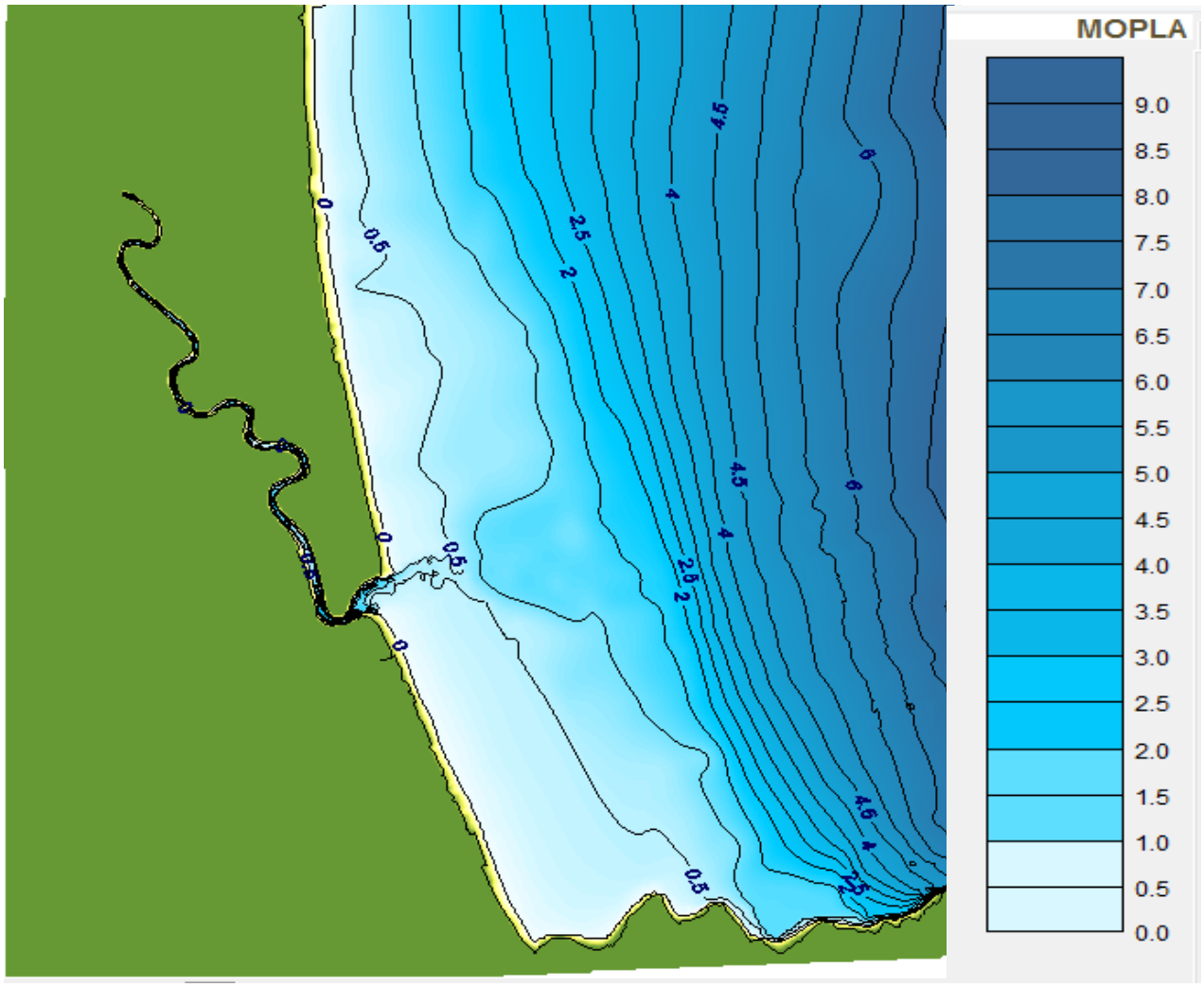


Figura 3.8.7.a: Batimetria interpolada na grade utilizada no modelo SMC.

Grades numéricas implementadas representam um compromisso entre os objetivos do projeto de modelagem final e a descrição dos processos hidrodinâmicos na região. A especificação desta é feita pela fixação dos pontos de grade ao longo da linha de costa (no plano), e pela batimetria (eixo vertical). Uma vez que estes pontos ao longo da linha de costa são determinados, as demais características batimétricas são associadas ao domínio.

Para considerar as distintas direções das ondulações provenientes do modelo para o ponto de coordenadas 45°W e 23,8°S, foram configuradas duas grades de cálculo que permitiram propagar as ondulações provenientes dos

quadrantes NE (45°) e E (90°), conforme Figura 3.8.7.b. Na Tabela 13 são apresentadas as características gerais das grades numéricas.

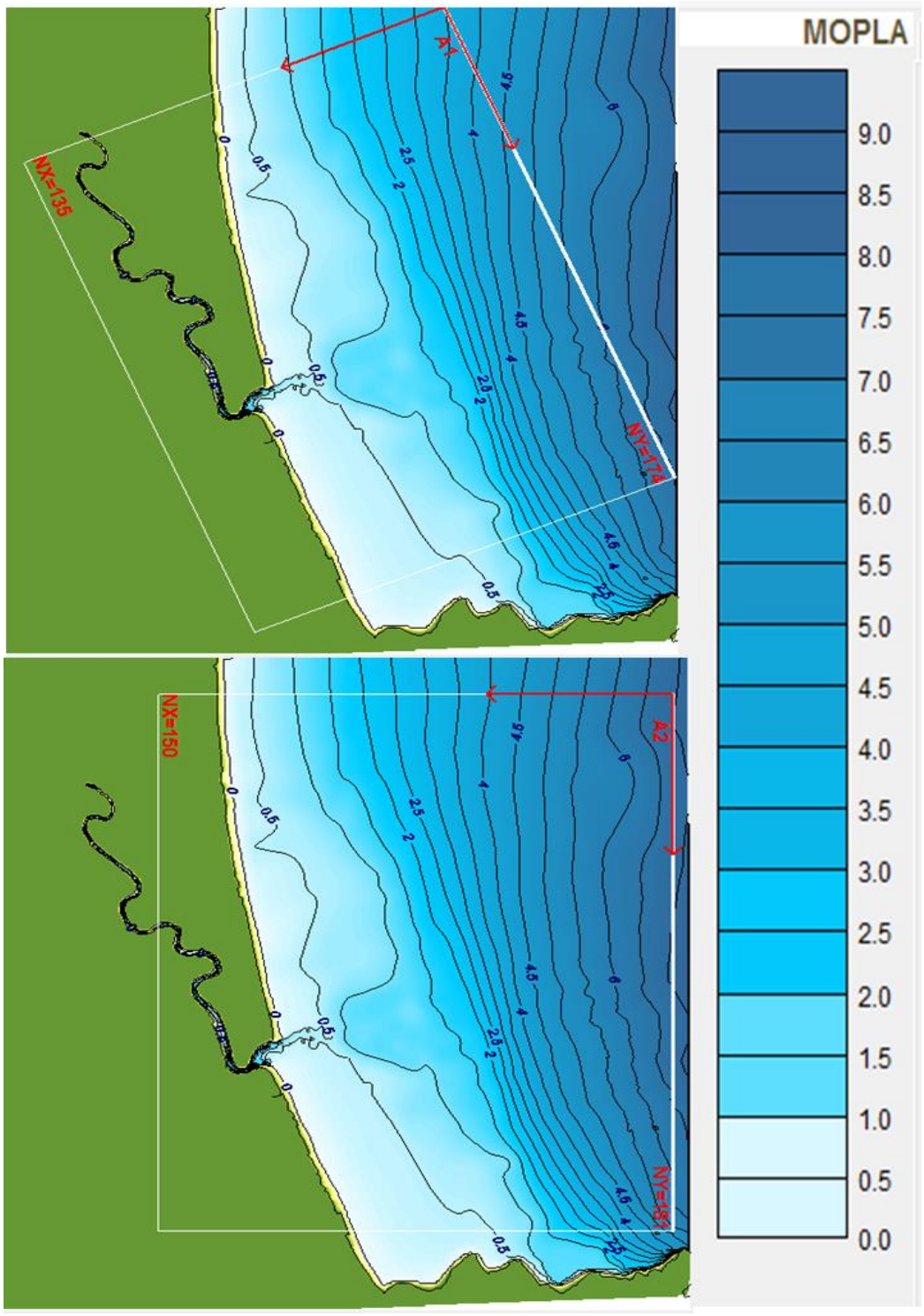


Figura 3.8.7.b: Limites das grades de cálculo utilizadas nas propagações das ondulações pelo modelo OLUCA..

Tabela 3.8.7.a: Características das malhas de propagação de ondas (UTM, WGS84, zona 23S).

Grade	***Origem***	***Orientação***	***Dimensões (m)***	***Resolução***
GRADE NE	X: 457772,13 Y: 7381333,37	NE, ENE	X: 3348,67 Y: 4314,77	25 m
GRADE E	X: 459357,37 Y:7381031,71	E, ESE	X: 3734,17 Y:4502,97	*25 m*

3.8.8. Condições de Contorno

Para caracterizar o funcionamento dos sistemas costeiros na Enseada de Caraguatatuba, se faz necessária a utilização de base de dados proveniente do modelo de terceira geração (SWAN) implementado para a região sul do Brasil como condição de contorno.

Esses dados gerados por modelo numérico definem as ondas em águas profundas, tornando imprescindível a aplicação de modelos de propagação para sua transferência até zonas costeiras este motivo, foram selecionados casos representativos que possibilitassem a reconstrução da série completa em águas rasas ao final da propagação. Esta seleção foi feita em ambiente MATLAB® através da metodologia proposta por Camus (2009). O método de Máxima Dissimilaridade ou MaxDiss foi descrito por Kennard e Stone no ano de 1969.

A escolha dos casos representativos pela técnica MaxDiss ocorreu através da seleção de um subconjunto de dados, dentro do total de estados de mar (Altura Significativa - Hs), Período de Pico – Tp, Direção Média - Dm), de tal forma que este subconjunto tivesse a maior diversidade possível. É a partir dessa seleção que se obtém uma série reduzida de casos representativos das ondas em águas profundas (CAMUS et al., 2010).

A Figura 3.8.8.a e Figura 3.8.8.b mostram a seleção dos 100 casos obtidos através da aplicação do algoritmo MaxDiss para o período de verão e inverno respectivamente. Os 100 casos selecionados fazem uma boa definição do contorno do domínio.

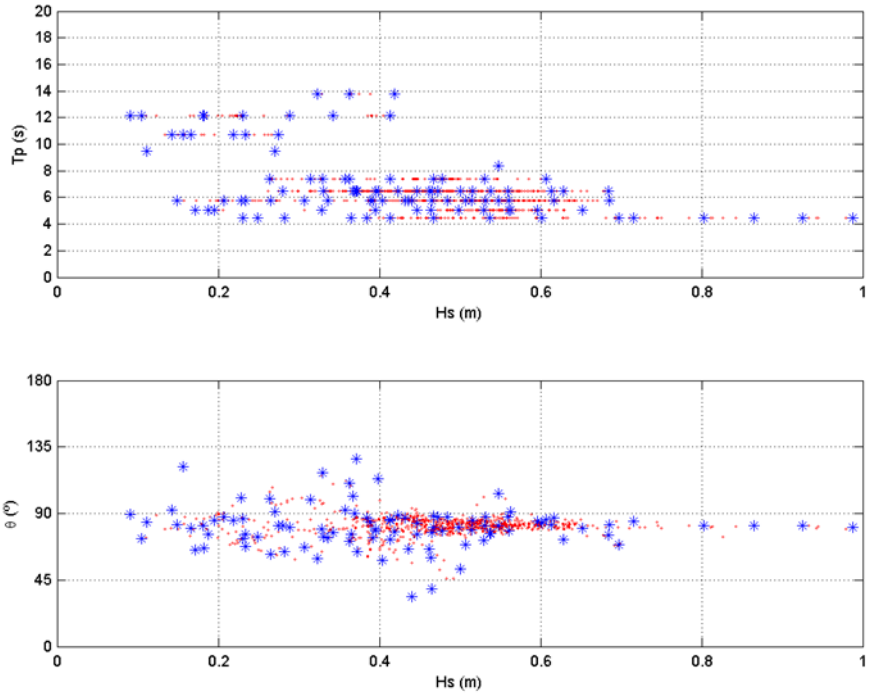


Figura 3.8.8.a: Estados de mar selecionados (em azul) sobre a base de dados total (em vermelho) no período do verão. Os estados de mar correspondem ao ponto de onda do SWAN selecionado em águas intermediárias profundas.

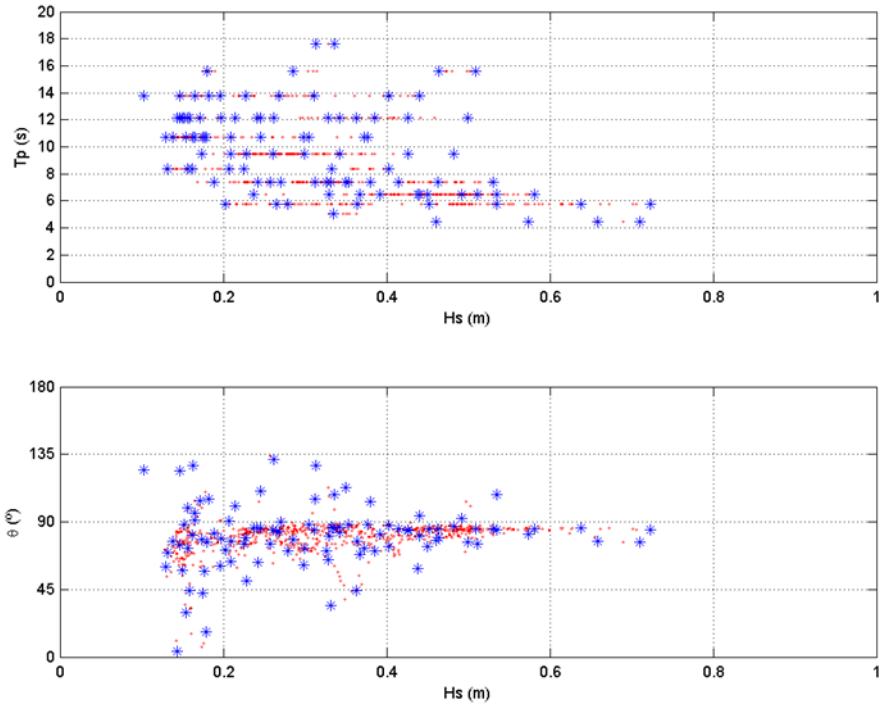


Figura 3.8.8.b: Estados de mar selecionados (em azul) sobre a base de dados total (em vermelho) no período de inverno. Os estados de mar correspondem ao ponto de onda do SWAN selecionado em águas intermediárias profundas.

3.8.9. Resultados do Modelo

As ondas, ao se propagarem desde águas profundas até a costa, experimentam uma série de fenômenos que ocorrem através da transformação de sua energia. Estes fenômenos têm sua origem no local onde as ondas são geradas pelos ventos e vão, desde aí, sofrendo os seguintes processos: empinamento (aumento na altura de onda através de uma diminuição do seu comprimento); refração (giro devido a uma diferença entre celeridades que ocorre por mudanças de profundidades); difração (aporte lateral de energia perpendicular à direção de propagação entre a zona de incidência e uma zona de sombra); reflexão (que ocorre pela presença de obstáculos); dissipação de energia pelo fundo (indução por forças tangenciais que são produzidas na camada limite perto do fundo); quebra da onda (quando a altura de onda coincide aproximadamente com a profundidade), etc.

Com o objetivo de caracterizar os processos que as ondas sofrem em sua propagação, e representar a influência da presença de ilhas e promontórios, a seguir será apresentada uma série de estados de mar que representam as seguintes condições: verão (altura significativa 0,70 m, período de pico 4,5 segundos e direção média de 67.5°) e inverno (altura significativa 0,88 m, período de pico de 6,6 segundos e direção média de 90°).

A análise das ondas em frente à Foz do Rio Juqueriquerê e sua descrição foi realizada através de mapas de magnitudes das alturas significativa das ondas, e pela direção média de propagação, indicados por vetores. Cada caso representa o comportamento das ondas diante de condições combinadas em águas profundas (E, ESE, SE).

As ondas que incidem sobre a região, ao se propagarem, sofrem uma série de processos de transformação que as condicionam a incidir sobre a zona costeira com uma direção mais ortogonal possível à linha de costa. Tal padrão gera processos de convergência, ou divergência, à medida em que estas incidem sobre a região de plataforma rasa (Figura 3.8.9.a e Figura 3.8.9.b).

Os resultados apresentados apontam a presença das ilhas de São Sebastião, Búzios e Vitória como os principais elementos refratores-difratores no

processo de propagação das ondas até a linha de costa, fazem com que os padrões das ondas de águas profundas não consigam chegar dentro da região rasa da Enseada de Caraguatatuba, mantendo um padrão constante de ondas de ENE e E tanto para o verão quanto para o inverno, modificando apenas a sua intensidade entre os períodos, como pode ser visto nas Figuras 3.8.9.a e 3.8.9.b.

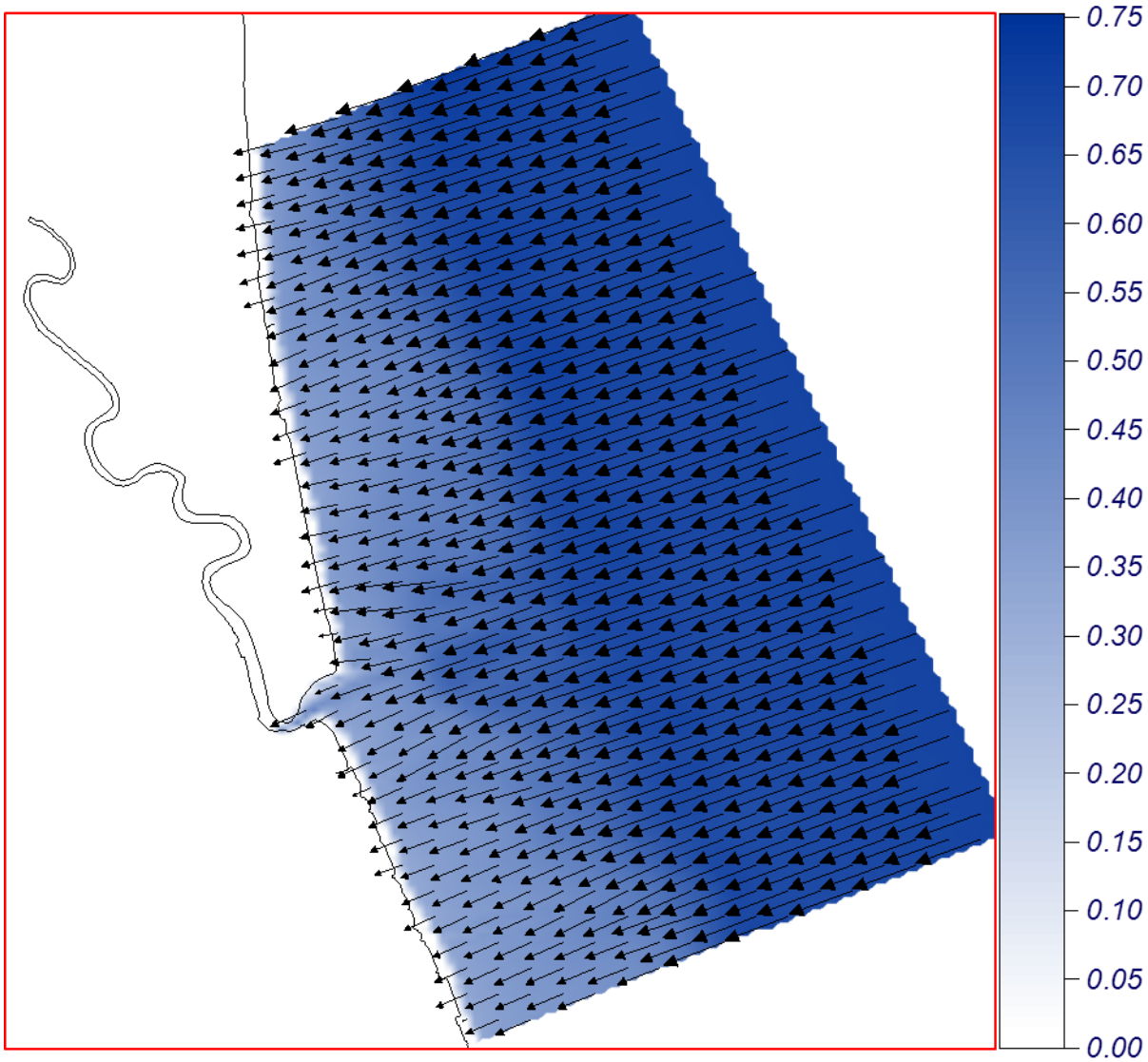


Figura 3.8.9.a: Altura significativa de onda e direção associada ao período de pico, para uma ondulação típica de verão (29 de novembro de 2016 às 22:00 horas) com Hs=0,70m, Tp=4,5s, proveniente de ENE.

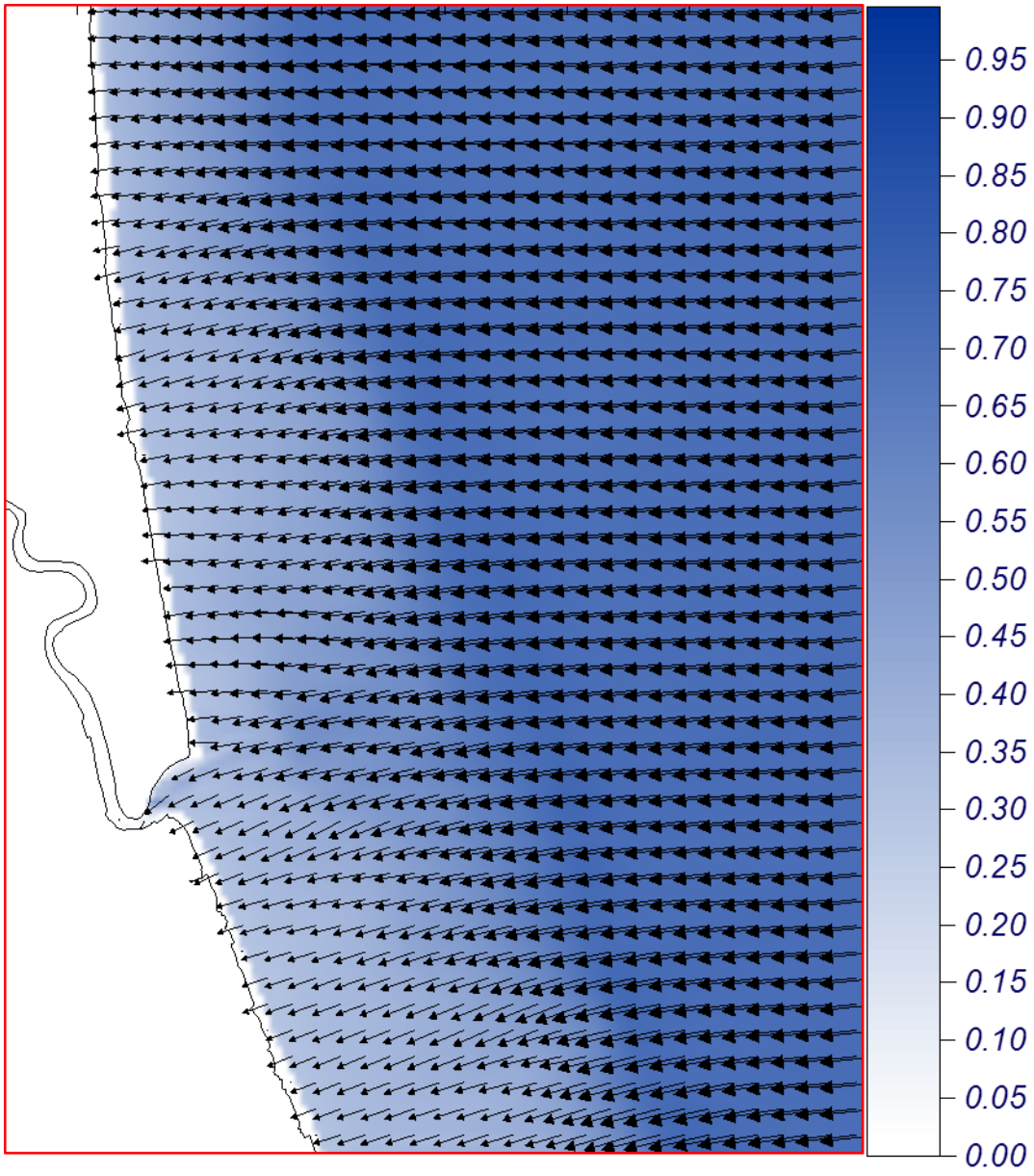


Figura 3.8.9.b: Altura significativa de onda e direção associada ao período de pico, para uma ondulação típica de inverno (04 de agosto de 2017 às 19: 00 horas) com Hs=0,88m, Tp=6,6s, proveniente de E.

Em seguida são apresentados os resultados obtidos através da técnica de interpolação conhecida como *Radial Basis Functions* (RBF), adequada para dados de alta dimensão e não distribuídos uniformemente (FRANKE, 1982). O objetivo da interpolação RBF é proporcionar a série completa, de estados de mar (altura

significativa (Hs), período de pico (Tp) e direção de média (Dm) em pontos de interesse ao longo da Enseada de Caraguatatuba, tomando como base a série de casos selecionados e propagados desde águas profundas até a região de interesse.

A Figura 3.8.9.c e Figura 3.8.9.d representam os 4 pontos que foram estudados no período de verão e inverno respectivamente. Os pontos selecionados representam o estados de mar na região para todo o período de verão e inverno, e caracterizam o padrão das ondas em isóbata mínima de 2 metros, assegurando que o clima de ondas apresentado não seja influenciado pelas características da zona de arrebentação.

A Figura 3.8.9.c, Figura 3.8.9.d e as Tabela 3.8.9.a 3.8.9. as ondas que incidem sobre os pontos P1 a P4. Os resultados de verão e inverno mostram que as ondas no Ponto 1 são as que mais sofreram os processos de refração-difração por estar em um local mais protegido. Uma vez que encontram o costão e as ilhas de São Sebastião, Búzios e Vitória as ondas tendem a posicionar-se mais perpendiculares à linha de costa, o que lhes confere a ausência de ondas de SE, e o predomínio das ondas de ENE, NE e E.

Os outros três pontos possuem direções semelhantes entre si e também apresentaram processos de refração-difração, com o predomínio das ondas de E. A medida que os pontos se afastam do promontório, as ondas de ENE diminuem sua intensidade, ocasionado pela morfologia da linha de costa.

Em todos os pontos houve diminuição das alturas das ondas em função dos diversos fenômenos de transformação de energia que sofrem ao se propagarem em regiões mais rasas.

Apesar da diferença no padrão de ondas entre o verão e o inverno nas ondas oceânicas, o padrão de ondas que chega na Enseada de Caraguatatuba permanece constante nos dois períodos devido à grande proteção que a região recebe das ilhas de São Sebastião, Búzios e Vitória, o que faz com que as ondas que cheguem na região apresentem as mesmas características, tendo uma diferença apenas na intensidade.

A intensidade das ondas que chegam na Enseada de Caraguatatuba no período de verão é maior do que no inverno por consequência da intensidade das ondas de E nesse período ser maior, que são justamente o tipo de ondas que consegue entrar na região, como foi descrito acima e representado pelas Figura 3.8.9.a à 3.8.9.d.

De modo geral, é possível afirmar que a presença das ilhas e a morfologia da linha de costa são fatores moduladores da morfodinâmica costeira da Praia da Enseada.

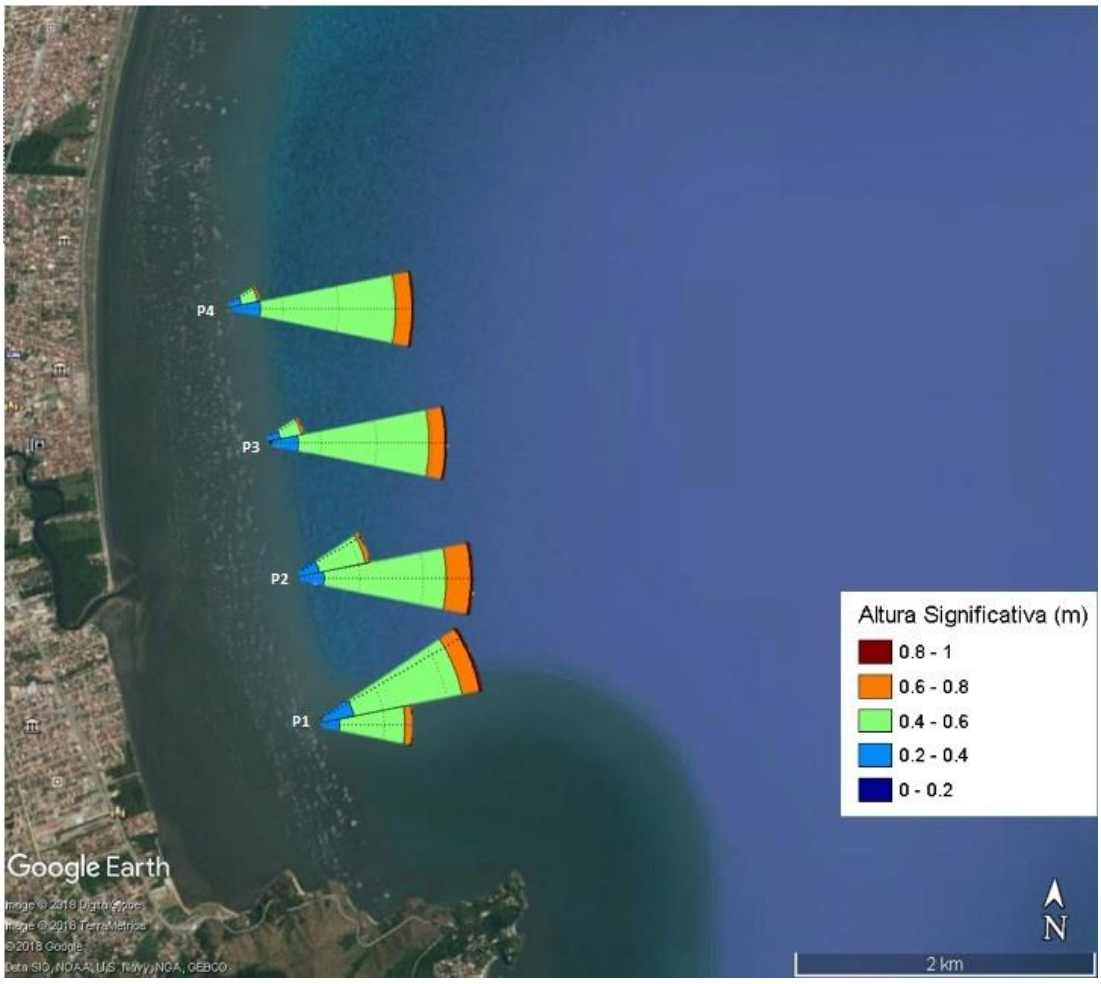


Figura 3.8.9.c: Histograma direcional da altura significativa (m) para os meses de estados de mar propagados no período de verão, em frente à foz do Rio Juqueriquerê, na enseada de Caraguatatuba.

Figura 3.8.9.d: Histograma direcional da altura significativa (m) para os meses de estados de mar propagados no período de inverno, em frente à foz do Rio Juqueriquerê, na enseada de Caraguatatuba.

Tabela 3.8.9.a: Ocorrência conjunta de altura significativa (m) e direção (º) das ondas segundo dados do modelo SWAN no período de verão, para o Ponto 1. A direção é medida em graus a partir do norte geográfico e segue a convenção meteorológica.

Altura	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Dir. Méd.
0.00-0.10	0.106	0.106	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.211	21
0.10-0.20	0.000	0.000	0.000	1.478	0.845	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.323	78
0.20-0.30	0.000	0.000	0.000	5.069	2.323	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.392	76
0.30-0.40	0.000	0.000	0.000	7.286	4.752	0.106	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	12.144	78
0.40-0.50	0.000	0.000	0.422	19.007	13.411	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	32.841	77
0.50-0.60	0.000	0.000	0.000	23.020	11.616	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	34.636	78
0.60-0.70	0.000	0.000	0.000	6.125	2.640	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.765	77
0.70-0.80	0.000	0.000	0.000	0.739	0.106	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.845	78
0.80-0.90	0.000	0.000	0.000	0.634	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.634	78
0.90-1.00	0.000	0.000	0.000	0.211	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.211	77
Total	0.106	0.106	0.422	63.569	35.692	0.106	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Int. Med	0.000	0.059	0.464	0.478	0.463	0.340	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Int. Max.	0.000	0.059	0.490	0.940	0.708	0.340	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		

Tabela 3.8.9.b: Ocorrência conjunta de altura significativa (m) e direção (º) das ondas segundo dados do modelo SWAN no período de verão, para o Ponto 2. A direção é medida em graus a partir do norte geográfico e segue a convenção meteorológica

Altura	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Dir. Méd.
0.00-0.10	0.106	0.106	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.211	22
0.10-0.20	0.000	0.000	0.000	1.056	1.056	0.106	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.218	80
0.20-0.30	0.000	0.000	0.000	3.062	3.696	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.758	79
0.30-0.40	0.000	0.000	0.000	5.069	6.019	0.106	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	11.193	80
0.40-0.50	0.000	0.000	0.317	11.193	22.281	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	33.791	79
0.50-0.60	0.000	0.000	0.106	7.497	26.188	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	33.791	80
0.60-0.70	0.000	0.000	0.000	1.162	8.765	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9.926	80
0.70-0.80	0.000	0.000	0.000	0.422	0.845	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.267	79
0.80-0.90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.634	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.634	80
0.90-1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.211	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.211	79
Total	0.106	0.106	0.422	29.461	69.694	0.211	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Int. Med	0.000	0.060	0.474	0.439	0.497	0.260	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Int. Max.	0.000	0.060	0.505	0.798	0.930	0.360	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		

Tabela 3.8.9.c: Ocorrência conjunta de altura significativa (m) e direção (º) das ondas segundo dados do modelo SWAN no período de verão, para o Ponto 3. A direção é medida em graus a partir do norte geográfico e segue a convenção meteorológica

Altura	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Dir. Méd.
0.00-0.10	0.106	0.106	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.211	22
0.10-0.20	0.000	0.000	0.000	0.422	2.429	0.106	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.957	83
0.20-0.30	0.000	0.000	0.000	2.957	3.485	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.441	80
0.30-0.40	0.000	0.000	0.000	3.273	8.659	0.211	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	12.144	82
0.40-0.50	0.000	0.000	0.211	7.603	29.145	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	36.959	81
0.50-0.60	0.000	0.000	0.211	2.006	29.989	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	32.207	82
0.60-0.70	0.000	0.000	0.000	0.739	6.336	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.075	81
0.70-0.80	0.000	0.000	0.000	0.422	0.845	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.267	80
0.80-0.90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.528	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.528	81
0.90-1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.211	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.211	80
Total	0.106	0.106	0.422	17.423	81.626	0.317	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Int. Med	0.000	0.057	0.482	0.416	0.480	0.276	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Int. Max.	0.000	0.057	0.509	0.788	0.910	0.350	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		

Tabela 3.8.9.d: Ocorrência conjunta de altura significativa (m) e direção (º) das ondas segundo dados do modelo SWAN no período de verão, para o Ponto 4. A direção é medida em graus a partir do norte geográfico e segue a convenção meteorológica

Altura	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Dir. Méd.
0.00-0.10	0.106	0.106	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.211	22
0.10-0.20	0.000	0.000	0.000	0.422	2.006	0.106	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.534	83
0.20-0.30	0.000	0.000	0.000	2.957	4.224	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.181	81
0.30-0.40	0.000	0.000	0.000	3.273	8.659	0.422	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	12.355	82
0.40-0.50	0.000	0.000	0.422	6.336	30.517	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	37.276	81
0.50-0.60	0.000	0.000	0.000	0.950	30.412	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	31.362	83
0.60-0.70	0.000	0.000	0.000	0.739	6.336	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.075	81
0.70-0.80	0.000	0.000	0.000	0.422	0.845	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.267	80
0.80-0.90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.528	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.528	82
0.90-1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.211	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.211	81
Total	0.106	0.106	0.422	15.100	83.738	0.528	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Int. Med	0.000	0.054	0.471	0.405	0.479	0.307	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Int. Max.	0.000	0.054	0.499	0.786	0.910	0.390	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		

Tabela 3.8.9.e: Ocorrência conjunta de altura significativa (m) e direção (º) das ondas segundo dados do modelo SWAN no período de inverno, para o Ponto 1. A direção é medida em graus a partir do norte geográfico e segue a convenção meteorológica

Altura	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Dir. Méd.
0.00-0.10	0.120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.120	0
0.10-0.20	0.000	0.000	0.718	11.603	4.545	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	16.866	75
0.20-0.30	0.000	0.000	0.120	14.952	6.938	0.239	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	22.249	76
0.30-0.40	0.000	0.000	0.000	14.952	11.124	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	26.077	77
0.40-0.50	0.000	0.000	0.000	10.167	12.201	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	22.368	78
0.50-0.60	0.000	0.000	0.000	6.818	3.589	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.407	77
0.60-0.70	0.000	0.000	0.000	0.478	1.196	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.675	79
0.70-0.80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.239	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.239	80
Total	0.120	0.000	0.837	58.971	39.833	0.239	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Int. Med	0.000	0.000	0.168	0.326	0.372	0.247	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Int. Max.	0.000	0.000	0.200	0.680	0.720	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		

Tabela 3.8.9.f: Ocorrência conjunta de altura significativa (m) e direção (º) das ondas segundo dados do modelo SWAN no período de inverno, para o Ponto 2. A direção é medida em graus a partir do norte geográfico e segue a convenção meteorológica

Altura	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Dir. Méd.
0.00-0.10	0.120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.120	0
0.10-0.20	0.000	0.000	0.478	7.656	7.656	0.120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	15.909	78
0.20-0.30	0.000	0.000	0.000	8.612	12.201	0.239	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	21.053	79
0.30-0.40	0.000	0.000	0.000	8.254	18.421	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	26.675	79
0.40-0.50	0.000	0.000	0.000	5.383	14.354	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	19.737	80
0.50-0.60	0.000	0.000	0.000	3.947	10.287	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	14.234	79
0.60-0.70	0.000	0.000	0.000	0.478	1.435	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.914	81
0.70-0.80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.359	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.359	82
Total	0.120	0.000	0.478	34.33	64.713	0.359	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Int. Med	0.000	0.000	0.168	0.323	0.372	0.238	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Int. Max.	0.000	0.000	0.180	0.680	0.730	0.280	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		

Tabela 3.8.9.g: Ocorrência conjunta de altura significativa (m) e direção (º) das ondas segundo dados do modelo SWAN no período de inverno, para o Ponto 3. A direção é medida em graus a partir do norte geográfico e segue a convenção meteorológica

Altura	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Dir. Méd.
0.00-0.10	0.120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.120	0
0.10-0.20	0.000	0.000	0.359	4.306	12.321	0.120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	17.105	80
0.20-0.30	0.000	0.000	0.000	5.861	16.507	0.239	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	22.608	81
0.30-0.40	0.000	0.000	0.000	6.340	19.378	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	25.718	81
0.40-0.50	0.000	0.000	0.000	2.751	18.062	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	20.813	82
0.50-0.60	0.000	0.000	0.000	2.392	9.330	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	11.722	80
0.60-0.70	0.000	0.000	0.000	0.478	1.316	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.794	82
0.70-0.80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.120	83
Total	0.120	0.000	0.359	22.129	77.033	0.359	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Int. Med	0.000	0.000	0.172	0.327	0.350	0.222	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Int. Max.	0.000	0.000	0.178	0.670	0.710	0.260	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		

Tabela 3.8.9.h: Ocorrência conjunta de altura significativa (m) e direção (º) das ondas segundo dados do modelo SWAN no período de inverno, para o Ponto 4. A direção é medida em graus a partir do norte geográfico e segue a convenção meteorológica

Altura	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Dir. Méd.
0.00-0.10	0.120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.120	0
0.10-0.20	0.000	0.000	0.359	4.067	12.919	0.239	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	17.584	81
0.20-0.30	0.000	0.000	0.000	5.981	16.507	0.239	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	22.727	81
0.30-0.40	0.000	0.000	0.000	4.665	21.890	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	26.555	82
0.40-0.50	0.000	0.000	0.000	2.392	16.029	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	18.421	82
0.50-0.60	0.000	0.000	0.000	2.033	10.646	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	12.679	81
0.60-0.70	0.000	0.000	0.000	0.239	1.555	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.794	83
0.70-0.80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.120	84
Total	0.120	0.000	0.359	19.378	79.665	0.478	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Int. Med	0.000	0.000	0.162	0.311	0.349	0.208	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Int. Max.	0.000	0.000	0.166	0.670	0.710	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		

3.8.10. Modelagem de transporte de sedimentos

A região costeira está submetida a impactos constantes das ondas, nos quais esse fluxo de energia ocasiona diversos campos de correntes que, predominantemente, são longitudinais à costa. Estas correntes são os fluxos que colocam em movimento o sedimento existente na costa. No entanto, para esta ação das correntes é muito importante somar o evento de suspensão do material como consequência da quebra das ondas, o que gera efeitos nas taxas de transporte.

O transporte longitudinal ocorre principalmente na zona de arrebentação (surf zone), logo depois da quebra das ondas e antes que as correntes longitudinais sejam máximas, que é o momento quando uma grande parte dos sedimentos entra em suspensão. Isso não quer dizer que o transporte não ocorra em outros trechos, e sim que estes são de menor relevância, como, por exemplo, o transporte que ocorre na zona de espraiamento (swash), onde os movimentos são, predominantemente, transversais à costa.

Três são os elementos que controlam este fenômeno: as correntes longitudinais, a morfologia da praia (fundamentalmente sua declividade) e, por último, as características do sedimento.

As correntes longitudinais são o mecanismo que força o transporte ao longo do arco praial, sendo que os outros parâmetros por si só não geram transporte, mas sim alteram sua ordem de magnitude. Por isso, muitas fórmulas estão estruturadas em função deste parâmetro.

As correntes longitudinais podem ser geradas a partir de dois mecanismos: devido às variações longitudinais dos fundos e devido à incidência oblíqua das ondas. O primeiro é responsável pela presença das correntes de retorno concentradas (rip currents), formando-se correntes longitudinais em pontos de maior profundidade, devido à maior altura de onda, em direção a pontos de menor profundidade, em que as ondas são menores (BOWEN, 1969). A segunda forma de gerar correntes surge como consequência de uma variação longitudinal do tensor de radiação, como demonstrou Longuet-Higgins em 1970.

A morfologia da praia influi diretamente na magnitude das correntes longitudinais, por estas serem dependentes da declividade da praia, que por sua vez altera a taxa de transporte, a qual depende do tipo de arrebentação, que é também função da declividade da praia.

O sedimento, da mesma forma que a morfologia da praia, também condiciona o valor das correntes longitudinais devido ao seu coeficiente de atrito. Mas, seu principal efeito no transporte longitudinal está relacionado ao tamanho do grão. Autores como CERC (1984), Kamphuis (1991) e Del Valle et al. (1993) encontraram relações que mostram que o aumento do tamanho de grão implica em uma redução nas taxas de transporte.

O Cálculo do Transporte de Sedimentos

Para o cálculo do cálculo de transporte de sedimentos foram utilizados resultados de granulometria referentes aos levantamentos de campo realizados em 2018.

As análises das amostras de sedimentos coletadas na área de estudo ao norte e ao sul da Foz do Rio Juqueriquerê, indicam a presença de sedimentos arenosos constituídos, predominantemente, de areias muito finas a finas (≥ 85%), sem a contribuição de sedimentos carbonáticos e matéria orgânica.

Os sedimentos arenosos coletados ao sul da Foz do Rio Juqueriquerê apresentam uma contribuição secundária de termos mais finos (siltes), predominantemente na zona de surfe do segmento costeiro mais a sul da área de estudo (14,6%), e nas proximidades da foz do rio (11,6%).

O setor a sul, mais próximo da área da foz do rio, apresenta maior contribuição de sedimentos mais finos (siltes e argilas), na face praial emersa, denominada como zona de espraiamento.

Considerando que as contribuições de sedimentos atuais, areias e siltes, são provenientes do transporte ao longo da linha de costa, associado a contribuição fluvial, temos que os sedimentos mais finos (siltes) se deslocam,

predominantemente para sul, a partir da contribuição da carga em suspensão aportada pelo rio, incorporando-se aos sedimentos presentes na zona de surfe.

Toda a região a sul da desembocadura apresenta uma maior, ou menor, contribuição de sedimentos siltosos em sua zona de surfe. Esta contribuição de sedimentos mais siltosos não está presente junto a Foz do Rio Juqueriquerê, indicando que a dinâmica fluvial é competente nos processos de remobilização destes sedimentos para áreas mais distantes da sua foz.

O diâmetro médio das amostras (D_{50}) da região ao sul variou entre 3,06 Ø, mais próximo a desembocadura, a 3,61 Ø nos segmentos costeiros mais à sul.

Igualmente ao observado para os sedimentos dispostos à sul da foz, os sedimentos da área ao norte da desembocadura correspondem a termos arenosos muito finos a finos sem contribuição significativa de sedimentos carbonáticos, conchas, e ausência de matéria orgânica.

Porém, quanto mais distante está o setor ao norte da área de estudo é mais significativa a presença de termos mais finos (siltes), nas zonas de espraiamento, com porcentagens médias dos mais finos atingindo 25%.

Desta forma, tem-se a possibilidade de que a carga de suspensão de contribuição fluvial possa ser também direcionada no sentido norte, ou então que estes sedimentos mais finos também possam ser provenientes dos setores mais a norte da enseada de Caraguatatuba.

O diâmetro médio das amostras da região ao norte variou entre 3,61 Ø, mais próximo a desembocadura, a 3,06 Ø nos segmentos costeiros mais à norte, indicando uma diminuição da granulometria média destes sedimentos.

O segmento junto a foz do rio apresenta as areias mais grossas com diâmetro médio (D_{50}) de 2,77 Ø.

Uma das fórmulas mais utilizadas na prática da Engenharia Costeira é a apresentada pelo CERC (*Coastal Engineering Research Center*) em 1984, que se baseia no princípio de que o volume de areia transportada é proporcional à energia das ondas ao longo da costa, por unidade de largura da praia.

$$Q_1 = \frac{\rho K \sqrt{g/\gamma_b}}{16(\rho_s - \rho)(1-a)} H_{s,b}^{2,5} \sin(2\theta_{b)}$$

Nesta formulação ρ é a densidade da água, ρs é a massa específica do sedimento, g a aceleração da gravidade, γb é o índice de arrebentação, a é o índice de porosidade do sedimento (≈ 0,4), Hsb a altura significativa de arrebentação, θb é o ângulo de arrebentação com relação à incidência das ondas e K um coeficiente adimensional para o qual foram propostos diversos valores e fórmulas para sua obtenção.

O Shore Protection Manual, tomando como base cálculos que utilizavam a altura significativa de onda, apresentou em 1984 um coeficiente adimensional KSPM=0,39. Anteriormente, Komar & Inman (1970) propuseram um valor de 0,77 a este coeficiente, utilizando como critério a altura de onda quadrática média em arrebentação (Hrmsb).

Por outra parte, Bailard (1981,1984) relaciona este parâmetro com a velocidade máxima orbital no ponto de quebra (u_{mb}) e a velocidade de queda do grão (w_f) seguindo a seguinte expressão $K = 0{,}05 + 2{,}6\sin^2(2\theta_b) + 0{,}007(u_{mb}/w_f)$, que recentemente propuseram del Valle, Medina & Losada (1993) com o tamanho médio de grão $K = 1{,}4e^{(-2{,}5D_{50})}$.

Entre as vantagens de se utilizar a fórmula do CERC (1984) nesse estudo com o coeficiente K proposto por del Valle, Medina & Losada (1991), é que esta é função do tamanho de grão D50, e foi validada para tamanhos de grão menores que 1,5 mm, coincidindo com os valores de D50 desse estudo. O método utilizado para calcular as taxas de transporte potencial foi baseado nos seguintes passos:

- O transporte foi calculado em 10 perfis (Figura 3.8.10.a) que cobrem toda a unidade fisiográfica analisada, e apresentam uma distribuição média de 250 metros aproximadamente entre os perfis;

- Para cada um dos perfis estabelecidos, foi necessário determinar as características das ondas na zona de arrebentação, assim como as correntes para os casos representativos selecionados através da metodologia MaxDiss, já detalhada anteriormente.

- Toda a base de dados em águas profundas é transferida para cada perfil no ponto de arrebentação da onda, utilizando a técnica RBF, *Radial Basis Functions*. Vale recordar que o presente estudo utilizou uma base de dados calibrada.

- Uma vez determinadas as características no ponto de arrebentação das ondas, para os períodos de verão e inverno do ano de 2017, foram então calculadas as taxas de transporte potencial longitudinal hora a hora com a formulação de CERC (1984) já indicada previamente.

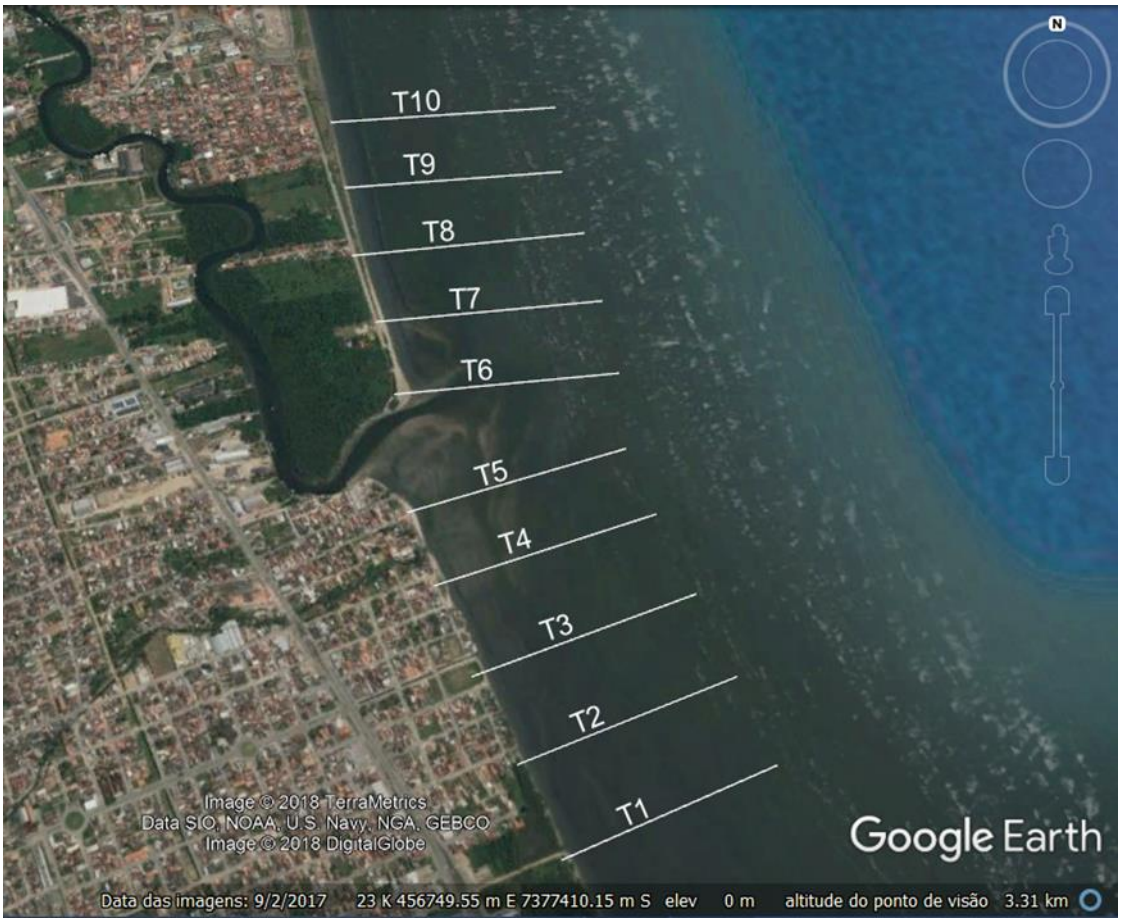


Figura 3.8.10.a: Localização dos perfis para o cálculo do transporte de sedimentos.

3.8.11. Resultados do Transporte de Sedimentos

Seguindo a metodologia indicada anteriormente foram estabelecidas as taxas médias anuais de transporte potencial longitudinal no período de verão (2016/2017) e inverno (2017), com os seguintes valores de D50, que correspondem ao valor médio obtido para cada perfil.

Tabela 3.8.11.a: Valor médio de D50 obtido para cada perfil

Perfil	D50 (mm)
T1	0.084
T2	0.082
T3	0.102
T4	0.120
T5	0.147
T6	0.082
T7	0.086
T8	0.091
T9	0.089
T10	0.080

As Figuras 3.8.11.a e 3.8.11.b representam as taxas médias anuais no período de tempo entre dezembro de 2016 e março de 2017 (verão) e maio e setembro de 2017 (inverno), respectivamente, para os 10 perfis considerados no cálculo do transporte. As cores indicam o sentido do transporte, o tamanho das barras o volume médio de transporte por período, e por fim, a linha verde o transporte residual.

É possível observar nas Figuras 3.8.11.a e 3.8.11.b que o transporte litorâneo na Praia de Caraguatatuba, na região da Foz do Rio Juqueriquerê, apresenta um padrão de transporte de sedimentos preferencialmente em direção à Sul, influenciado pela obliquidade das ondas que incidem sobre a região, gerando correntes no sentido longshore em diferentes intensidades.

Já a partir do perfil T6, o transporte apresenta tanto no verão quanto no inverno, uma inversão no sentido do transporte, porém de menor intensidade, o que corrobora com o acúmulo de sedimentos presentes nesta porção Norte da desembocadura do Rio Juqueriquerê. Vale também destacar a partir do T7 existe

uma inversão no sentido do transporte em quase 50% do tempo, o que indica que o transporte nesta região se encontra em equilíbrio dinâmico.

Os resultados apresentados na Figuras 3.8.11.a e 3.8.11.b mostram maior volume de transporte nos Perfis muito similar em toda a região estudada. O baixo volume de transporte em todos pontos analisados é decorrente das baixas intensidades das características hidrodinâmicas locais.

Vale destacar o perfil T7 que apresentou um transporte residual nulo. Este resultado é nulo fruto de um equilíbrio entre transportes mais significativos, nas direções opostas, ou equilíbrio resultado de uma quase inexistência de transporte.

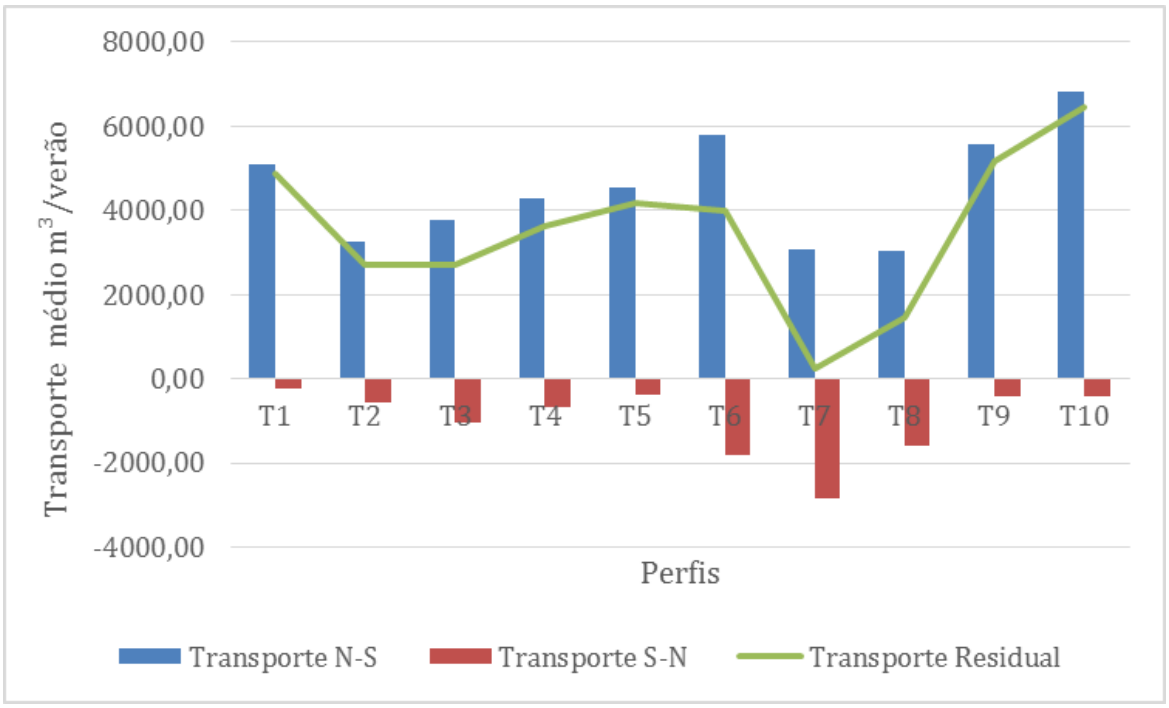


Figura 3.8.11.a: Transporte de sedimentos médio para o período de verão de 2017, nos 10 perfis estudados

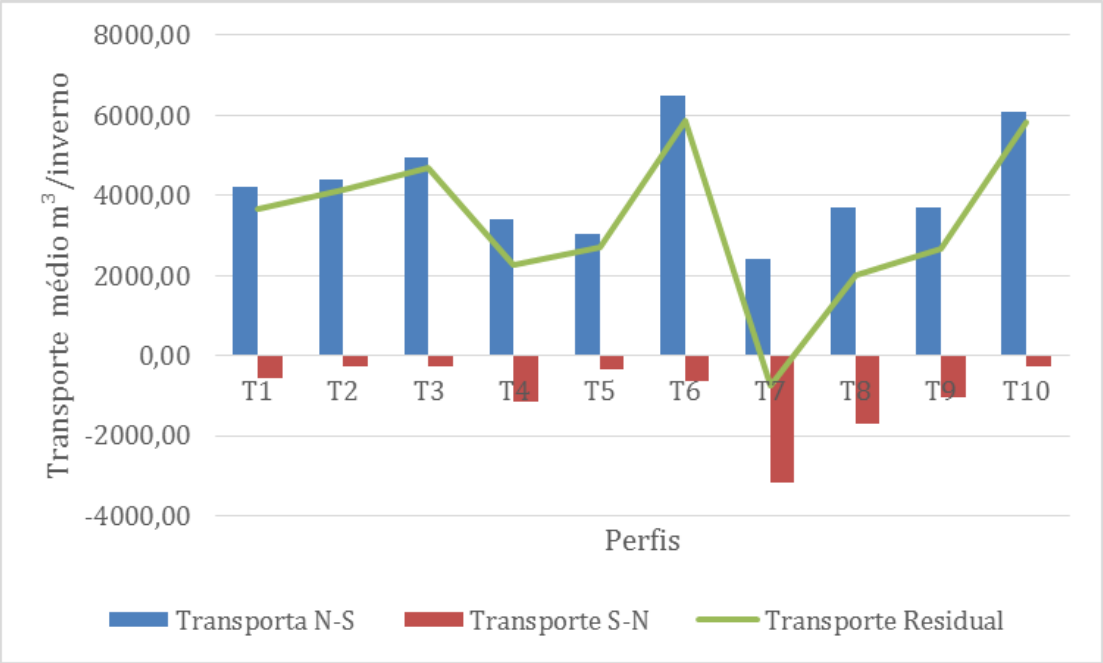


Figura 3.8.11.b: Transporte de sedimentos médio para o período de inverno de 2017, nos 10 perfis estudados.

Com o objetivo de entender o transporte ao longo de todo o período, é apresentado a seguir a série de transporte tanto para o verão quanto para o inverno (Figura 3.8.11.c a Figura 3.8.11.f).

A partir dos resultados a seguir tem-se que a maior parte dos valores ao longo do tempo nos perfis são positivos, o que confirma o transporte de sedimentos indo em direção à sul da Enseada de Caraguatatuba tanto no verão quanto no inverno.

A partir das médias de cada perfil nos dois períodos (verão e inverno), tem-se que em geral uma parte dos sedimentos fica retido ao longo do transporte em cada perfil. Os únicos perfis em que esse padrão não ocorreu foram entre o T7e T6, T5 e T4 no verão, e entre o T4 e T3 no inverno, onde houve erosão no transporte total do sedimento de um perfil para outro.

Desta forma, fica evidenciado que apesar do predomínio do transporte sedimentar ocorrer no sentido sul ao longo de toda a enseada, pontualmente também são observados momentos de transportes no sentido oposto, gerando pequenas alterações momentâneas no padrão das feições de linha de costa em setores contíguos.

Esta observação é particularmente significativa, para o segmento a sul da Foz do Rio Juqueriquerê, que alimentado pelas areias provenientes dos setores a NE, de forma não continuada, e lamas exportadas pelo rio, geram a formação de bancos longitudinais.

Em um primeiro instante estes bancos paralelos à linha de costa não se ligam diretamente a praia emersa, criando condições locais, de ondas e correntes, para que pequenos setores apresentem transportes em sentidos opostos, em curtos períodos.

Portanto, o estabelecimento de um canal de navegação permanente interligado a zona marinha ao canal fluvial implica, necessariamente, na interrupção do aporte arenoso proveniente dos setores a NE da enseada, ou do estabelecimento de procedimentos contínuos de dragagem.

Após a interrupção do fluxo sedimentar ao longo da linha de costa junto à foz do rio, a transferência sedimentar das areias de NE para SE/SW, não mais ocorrerá episodicamente, nos períodos de perda da função de molhe hidráulico do Rio Juqueriquerê. Nestas fases a transferência direta das areias de um setor da foz, para o setor oposto será interrompida. Esta transferência só irá acontecer novamente quando o setor a NE da foz do rio, onde se estabelecerá uma acumulação arenosa pelo transporte litorâneo das areias provenientes das porções a NE da enseada, tiver atingido seu volume crítico de acumulação.

Portanto, somente quando estas condições de acumulação estiverem estabelecidas será possível uma transferência das areias entre os segmentos a NE e SE/SW da desembocadura fluvial.

Desta forma, os setores a Sul só receberiam sedimentos da praia submersa frontal a este setor e do pouco significativo aporte de areias provenientes do canal fluvial.

Esta perda temporária de aporte arenoso implicará que as fases de reposição arenosa compensatória aos períodos de remoção sedimentar destes setores a Sul (erosão), sofrerá uma alteração temporal, com o estabelecimento de um lapso de tempo para que se verifique seu restabelecimento.

Desta forma, a prevalência de processos erosivos, ainda que de pequena expressão espacial, poderá afetar a face emersa deste setor, ocupada por edificações que avançam sobre a praia, e na ocupação urbana assentada sobre o antigo manguezal atualmente assoreado.

Assim, considerando que o transporte será interrompido à jusante do enrocamento, no caso, à Sul da barra do Rio Juqueriquerê, e considerando ainda a necessidade de destinação dos sedimentos dragados no rio e canal para que seja atingida a cota projetada, haverá excedente de sedimentos para reposição, podendo, inclusive haver planejamento para aproveitamento das frações de maior granulometria, já que estas apresentam maior estabilidade em ambientes de baixa energia por exigir hidrodinâmica maior para seu retrabalhamento.

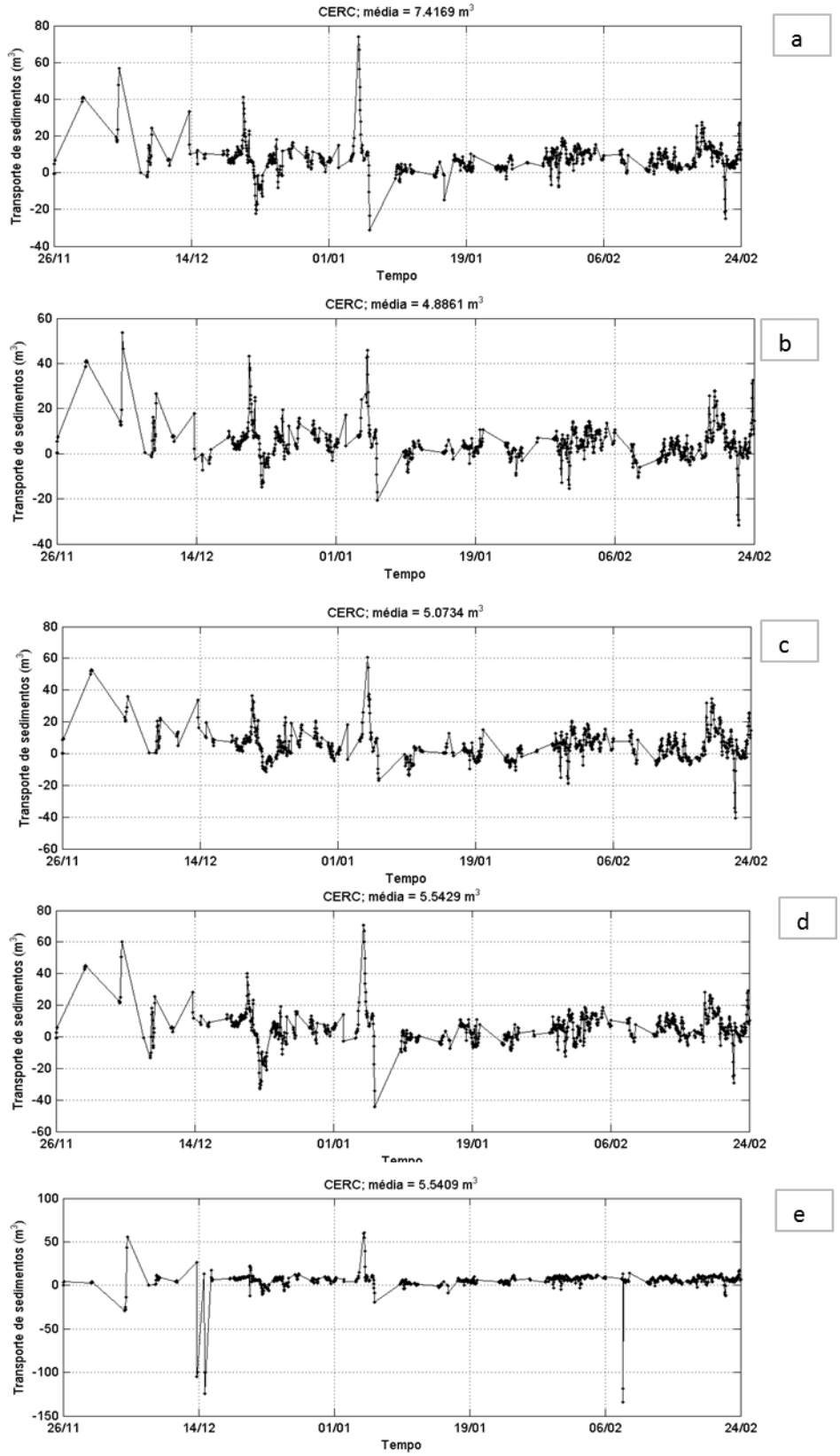


Figura 3.8.11.c: Série de transporte de sedimentos do período de verão dos perfis T1 (a), T2 (b), T3 (c), T4(d) e T5(e).

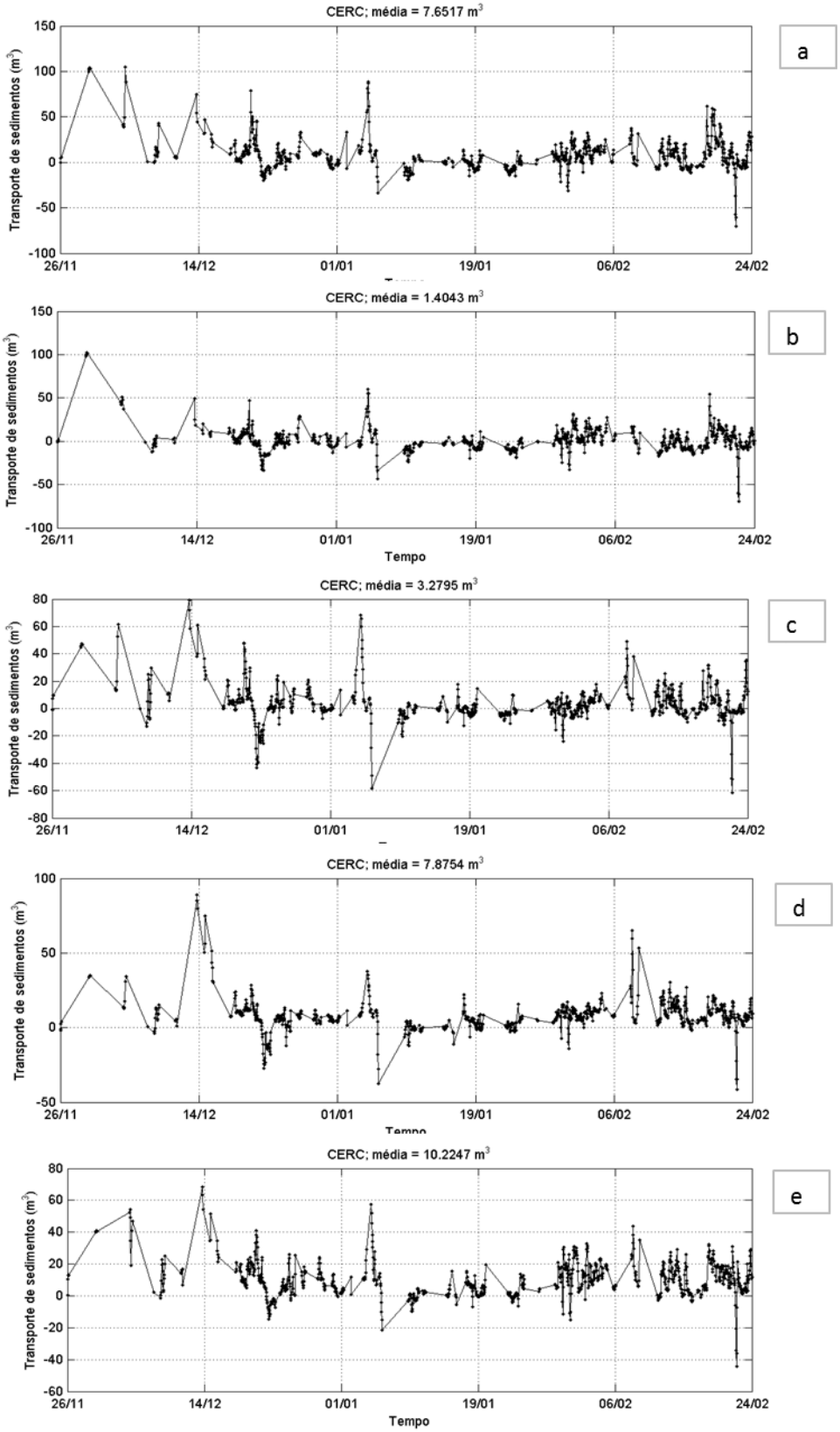


Figura 3.8.11.d: Série de transporte de sedimentos do período de verão dos perfis T6 (a), T7 (b), T8 (c), T9(d) e T10 (e).

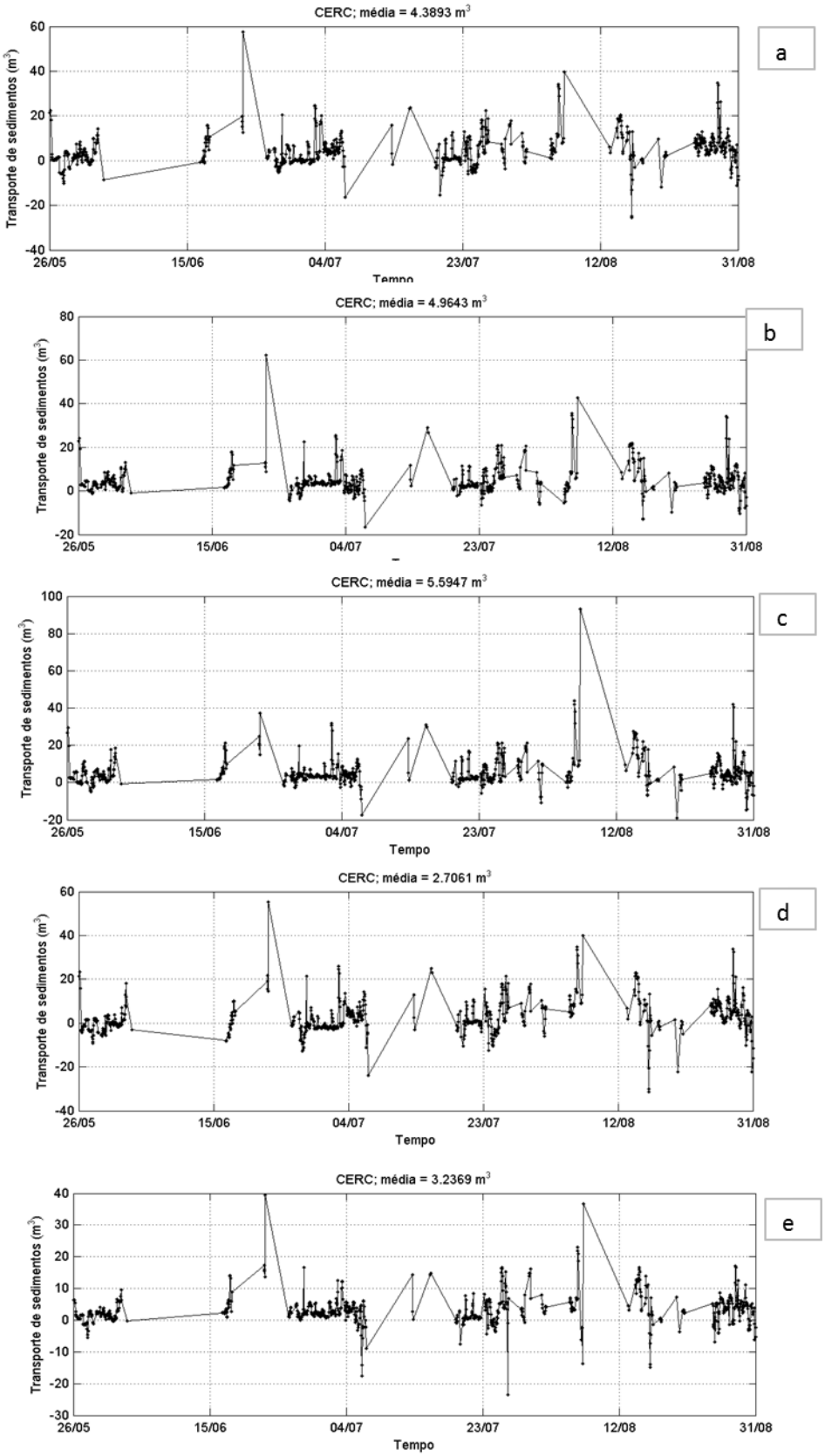


Figura 3.8.11.e: Série de transporte de sedimentos do período de inverno dos perfis T1 (a), T2 (b), T3 (c), T4 (d) e T5 (e).

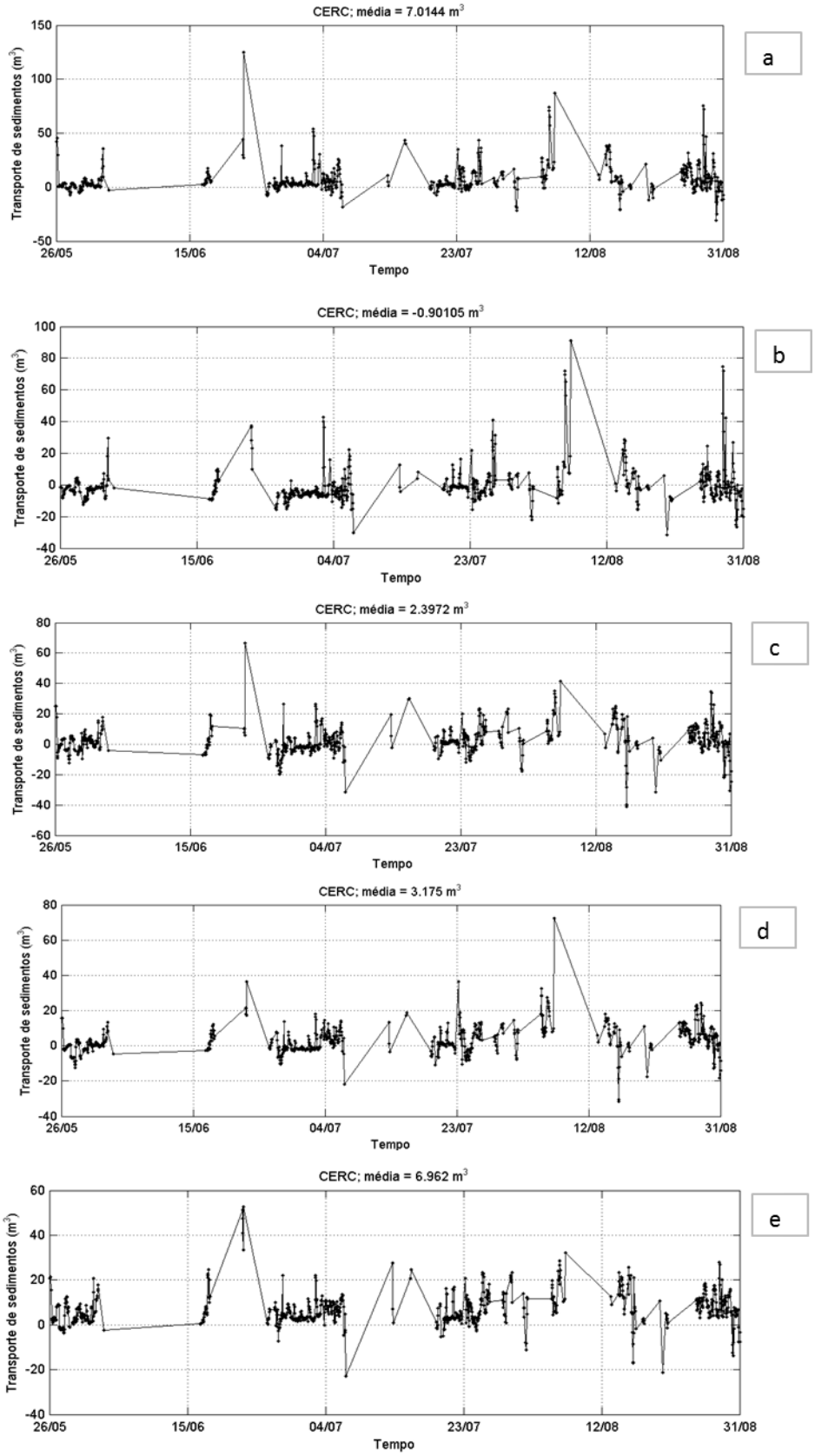


Figura 3.8.11.f: Série de transporte de sedimentos do período de inverno dos perfis T6 (a), T7 (b), T8 (c), T9 (d) e T10 (e).

3.8.12. Análise de Estabilidade a Longo Prazo

Nesse estudo foram utilizados dados de perfis de praia coletados na Enseada de Caraguatatuba entre os dias 18 e 23 de janeiro de 2017. Os perfis topográficos foram realizados através de GPS, utilizando o método RTK, com a antena base instalada sobre marcos implantados em pontos estratégicos para fornecer cobertura suficiente para o levantamento com a antena móvel (descritos em itens anteriores). Foram escolhidos dois pontos, um ao norte (O17130_RN2) e outro ao sul (O17130_RN2) da foz do Rio Juqueriquerê. As coordenadas da Base RTK (*Real Time Knematics*) foram determinadas através do método de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), com três horas de rastreio em cada um dos pontos.

Na Figura 3.8.12.a é mostrado o marco geodésico O17130_RN3, o qual foi implantado em frente à Marina da Barra para o nivelamento de régua de maré para a correção da batimetria, bem como os pontos de instalação da antena.

Figura 3.8.12.a: Régua de maré para a correção da batimetria, e os pontos de instalação da antena.

Conforme detalhado anteriormente, a partir do sinal de rádio enviado para a antena instalada campo para correção do GPS, a precisão das profundidades medidas no perfil ficaram em cerca de 15 mm na vertical.

Do levantamento do perfil de praia, foram selecionados os perfis que estão até 1,5 km de distância da foz do Rio Juqueriquerê, representados na Figura 3.8.12.b.

Figura 3.8.12.b: Localização dos perfis coletados no período de 18 a 23 de janeiro de 2018.

A seguir são apresentados os resultados obtidos através do ajuste de Dean para os perfis da Enseada de Caraguatatuba (Figura 3.8.12.c a 3.8.12.j). Os perfis 8 e 9 estavam em locais muito assoreados e não tinham a profundidade necessária para fazer o ajuste.

É interessante destacar que na formulação de Dean (1991) a forma do perfil depende do tamanho de sedimento, enquanto que as ondas nos fornecem a cota de finalização ou profundidade de fechamento do perfil (h*).

A partir dos resultados abaixo é possível ver que a região localizada ao Sul da foz do Rio (Perfis 5 ao 7) apresenta desequilíbrio sedimentar com um volume menor de areia na face emersa do perfil (processos erosivo), enquanto na região localizada ao Norte da foz do Rio, os segmentos da face emersa da praia apresentam acresção de sedimentos (Perfis 10 a 14), quando comparados a forma de equilíbrio do perfil de Dean.

A partir das análises do estado atual de equilíbrio dinâmico dos perfis praiais a NE e SE/SW da foz do Rio Juqueriquerê, frente a um perfil teórico de estabilidade preconizado pelas condições oceanográficas atuais (perfil de Dean), se conclui que os setores praiais a SE/SW da foz apresentam características de perfis em desequilíbrio de perda sedimentar (erosão). Nos setores a NE, a tendência de acresção dos perfis (deposição) é indicativo seguro da existência de um aporte arenoso constante no tempo, proveniente dos setores praiais a NE da foz.

A partir do estabelecimento de estrutura de fixação da foz do rio, os setores a SE/SW deverão sofrer aporte menos significativo das areias provenientes da enseda a NE. Estas novas condições oceanográficas, e a diminuição do aporte sedimentar irá proporcionar novos ajustes no perfil de equilíbrio dinâmico da praia neste setor.

Desta forma, um setor que originalmente apresentava a formação temporária de bancos arenosos paralelos à costa, com o posterior deslocamento destes bancos em direção a linha de praia (que supria a face praial emersa erodida com sedimentos) necessitará do estabelecimento de uma compensação sedimentar. Esta compensação será de pequena expressão volumétrica, no sentido de suprir de sedimentos este setor, até que as condições dinâmicas possam reestabelecer a interligação arenosa entre os dois setores que margeiam a Foz do Rio Juqueriquerê.

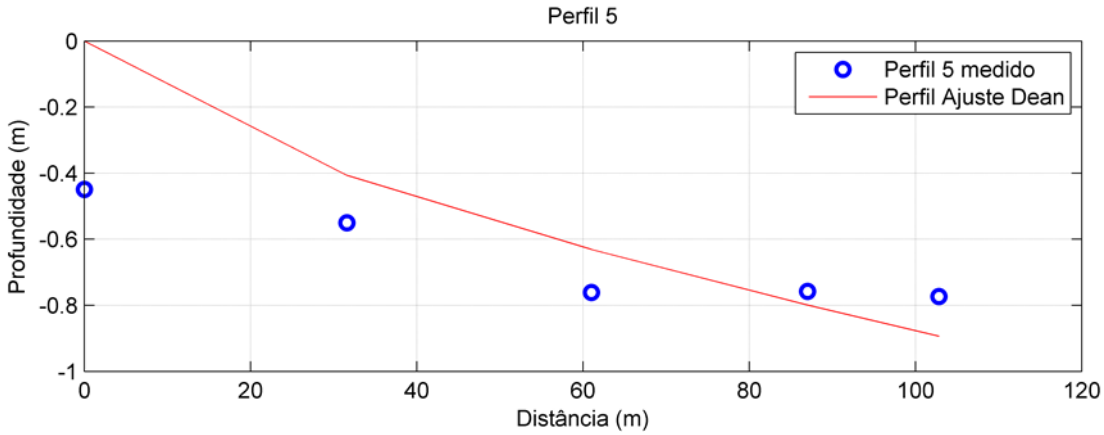


Figura 3.8.12.c: Ajuste do perfil 5 a um perfil de Dean. Pontos azuis representam dados do levantamento, em vermelho o ajuste de Dean.

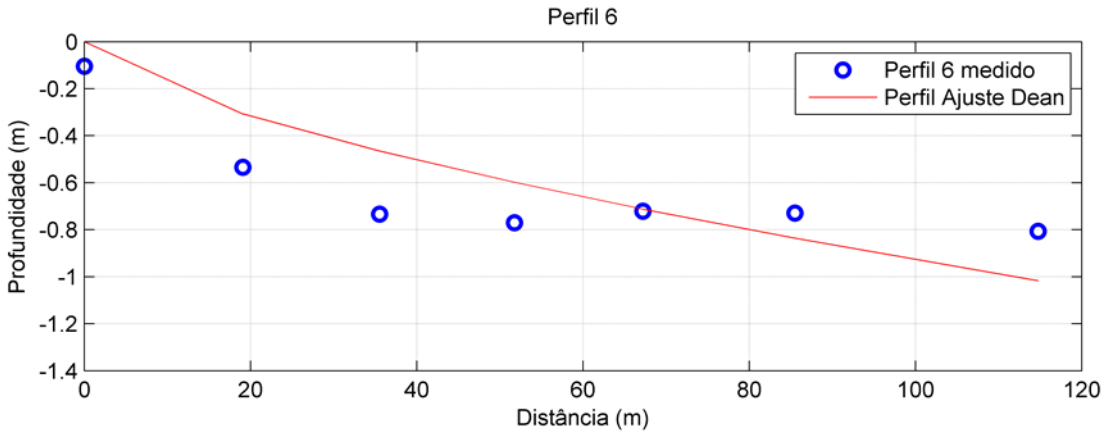


Figura 3.8.12.d: Ajuste do perfil 6 a um perfil de Dean. Pontos azuis representam dados do levantamento, em vermelho o ajuste de Dean.

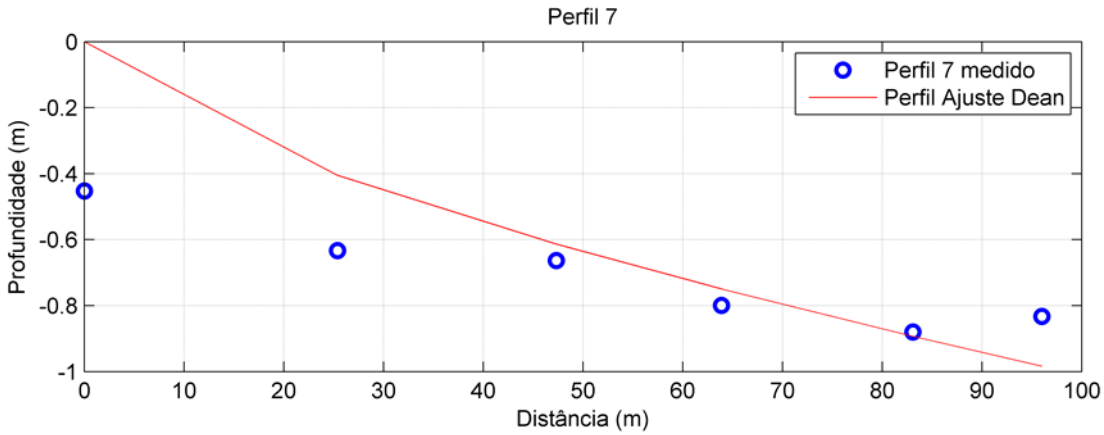


Figura 3.8.12.e: Ajuste do perfil 7 a um perfil de Dean. Pontos azuis representam dados do levantamento, em vermelho o ajuste de Dean.

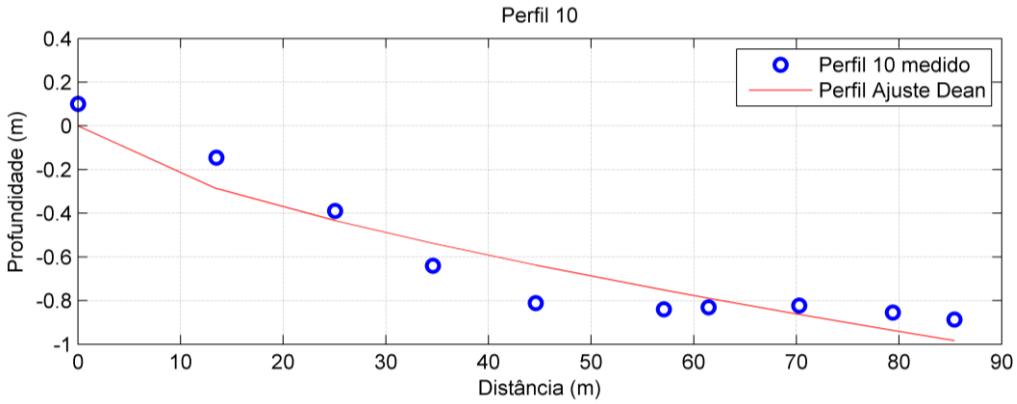


Figura 3.8.12.f: Ajuste do perfil 10 a um perfil de Dean. Pontos azuis representam dados do levantamento, em vermelho o ajuste de Dean.

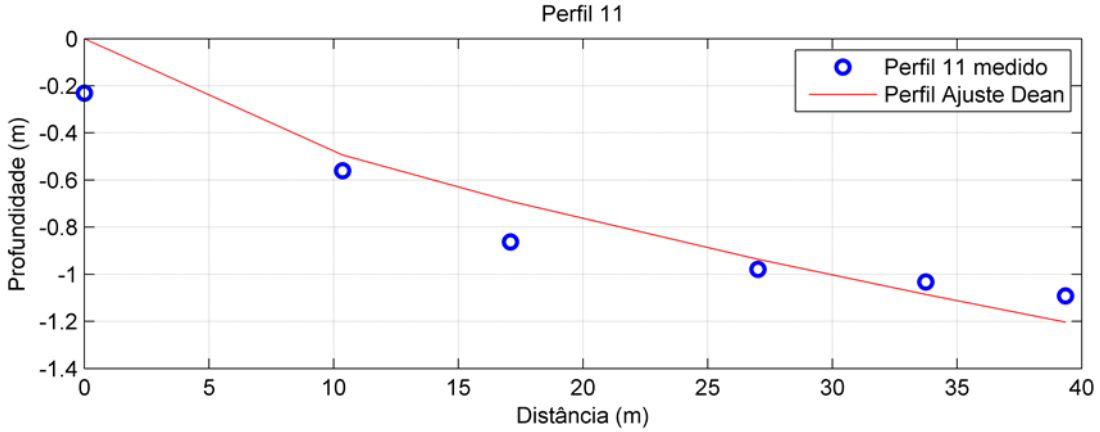


Figura 3.8.12.g: Ajuste do perfil 11 a um perfil de Dean. Pontos azuis representam dados do levantamento, em vermelho o ajuste de Dean.

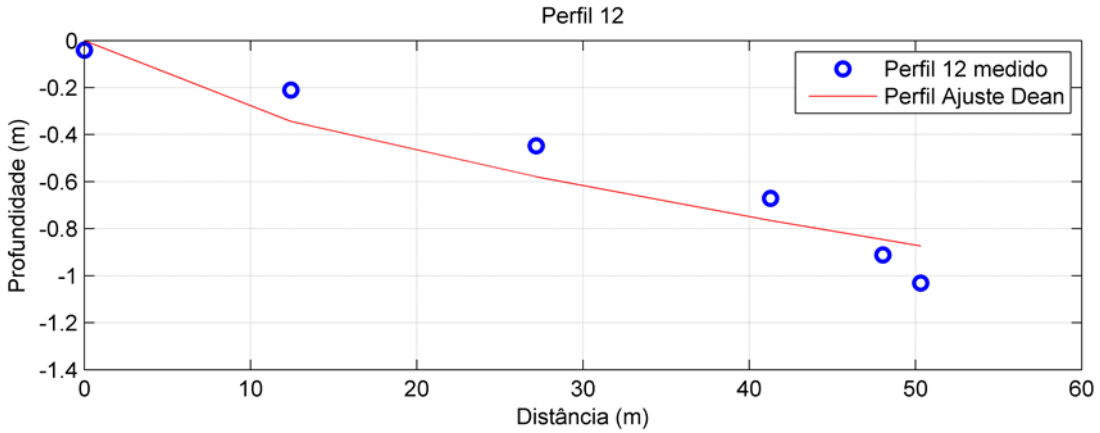


Figura 3.8.12.h: Ajuste do perfil 12 a um perfil de Dean. Pontos azuis representam dados do levantamento, em vermelho o ajuste de Dean.

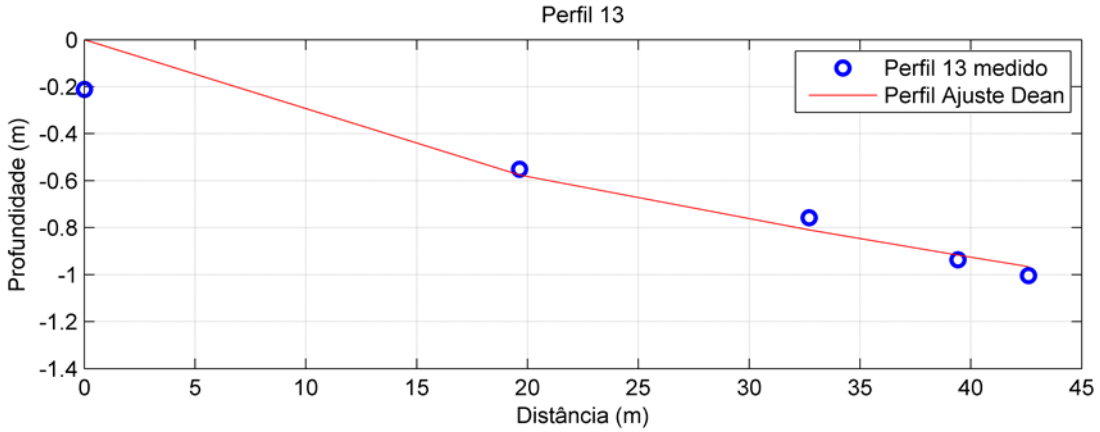


Figura 3.8.12.i: Ajuste do perfil 13 a um perfil de Dean. Pontos azuis representam dados do levantamento, em vermelho o ajuste de Dean.

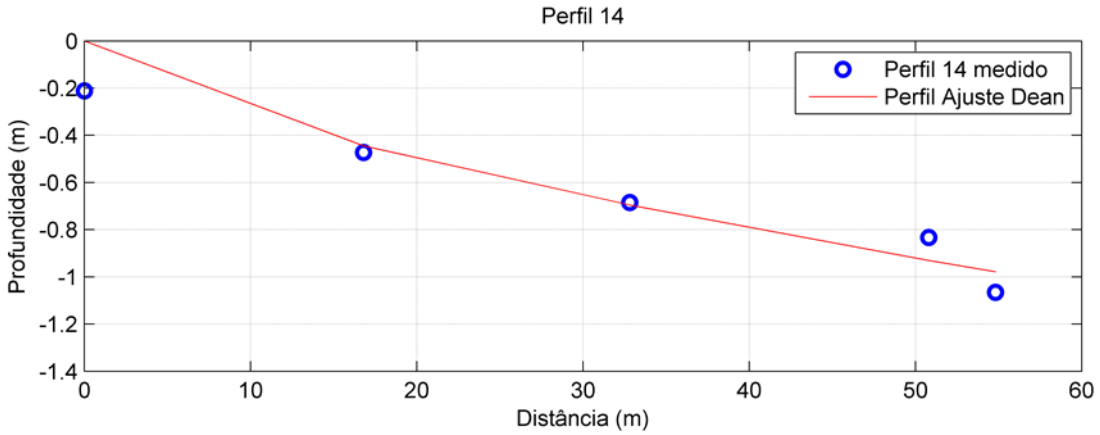


Figura 3.8.12.j: Ajuste do perfil 14 a um perfil de Dean. Pontos azuis representam dados do levantamento, em vermelho o ajuste de Dean.

3.8.13. Enrocamentos (ou Molhes) para Proteção do Canal de Acesso

Em seguida estão apresentadas as etapas das características básicas de design do canal de acesso, e dos molhes para a estabilização da Foz do Rio Juqueriquerê.

Largura

A largura da entrada do canal de acesso à área estuarina do Rio Juqueriquerê é função da capacidade de manobrabilidade da embarcação e das condições do mar. Considerando um caso ideal, a largura necessária para manobra é de 1,3B, aonde B é a largura de boca do barco tipo que será utilizado. Este cálculo leva em conta pequenas perturbações devido a efeitos hidrodinâmicos. Para condições moderadas, a largura necessária para manobras é de 1,5B e para condições severas, 1,8B. A Tabela 3.8.13.a abaixo resume os requisitos de manobra em função das condições de navegação (PIANC, 1997).

Tabela 3.8.13.a: Tabela de cálculo da largura do canal de acesso (PIANC, 1997). B é a largura da boca da embarcação tipo.

Parâmetro	Condição	Limite	Ajuste (+largura)
Velocidade do barco	Leve	< 8 nós	0
	Moderada	8-12 nós	0
	Intensa	> 12 nós	0,1B
Vento de través	Leve	< 7,7 m/s	0
	Moderada	7,7-17 m/s	0,4B
	Intensa	17 m/s	0,8B
Corrente de través	Leve	0,1-0,26 m/s	0,2B
	Moderada	0,26-0,77 m/s	0,7B
	Intensa	> 0,77 m/s	1.0B
Corrente longitudinal	Leve	< 0,77 m/s	0
	Moderada	0,77-1,54 m/s	0,1B
	Intensa	> 1,54 m/s	0,2B
Altura de onda	Leve	< 1 m	0
	Moderada	1-3 m	1,0B
	Intensa	> 3 m	2,2B

A aproximação final da entrada do canal deve ser linear. A porção linear do canal deve ser, pelo menos, 3 a 5 vezes o comprimento da embarcação. Idealmente, esta aproximação ao canal de acesso deve ter correntes ou ventos incidentes longitudinais, mas aonde isso não é possível, o ângulo dos ventos/correntes incidentes em relação a embarcação não deve exceder 10 a 15 graus. Na entrada, a velocidade da corrente de través não deve exceder 1,5 m/s e os ventos de través não devem exceder 15 m/s. Para atender tais condições, caso elas ocoressem regularmente, a largura de entrada deveria ser acrescida de um mínimo de 0,3B adicional.

Vale lembrar que há excedente de espaço para largura entre-molhes, não havendo necessidade de ajuste para o caso.

Orientação

Quando se trata da estabilização da foz de rio, a entrada junto ao acesso do canal principal é a área mais crítica e com o maior risco. A entrada deve ser estreita o suficiente para minimizar a penetração de ondas, mas não tão estreita que aumente as correntes localmente ou restrinja a circulação.

A orientação da entrada deve ser preferencialmente não alinhada aos eventos de tempestades dominantes. Em geral, uma entrada deve ser localizada distante o suficiente da linha de costa para estar além da zona de arrebentação e do ponto de fechamento da praia, de modo a minimizar entrada de sedimentos e possibilitar eventual manobrabilidade das embarcações fora da zona de arrebentação.

A entrada, todavia, deve ser projetada de modo que uma embarcação não precise fazer manobras no acesso. A área de eventuais manobras deve ser somente depois da entrada em uma área mais protegida. Para evitar o perigo de um encalhe do barco sob os efeitos dos ventos, ondas, ou correntes, o canal de entrada não deve ter a entrada ou trechos paralelamente à linha da costa.

Profundidade

A profundidade do canal necessária para a entrada vai depender de vários fatores operacionais e locais. Para ondas de até 1 m, o incremento sobe para 30% do calado, e para ondas mais altas, o incremento deve ser de 50% do calado.

Uma outra consideração é que a profundidade da água na entrada do canal deve cair na faixa de 130 a 160% da altura da onda de tempestade. Normalmente o transporte de sedimentos irá ocorrer através da entrada, formando uma barra de areia. Durante eventos de tempestade, esta barra irá provocar quebras de ondas, podendo causar risco à navegação. A entrada deve estar, preferencialmente, em uma profundidade de pelo menos duas vezes a altura da onda de projeto para estar fora do limite de quebra. Além disso, profundidades indicadas para pouco ou nenhum movimento de sedimentos no fundo por ondas é 1,6 Hs,12 onde Hs,12 é a altura de onda significativa de 12 horas/ano.

Considerações sobre os Molhes

O design da estabilização da Foz do Rio Juqueriquerê leva em conta alguns requisitos:

- A menor quantidade energia de ondas possível penetra no canal de acesso ao rio.
- A perturbação de ondas dentro do canal deve ser mínima para reduzir riscos.
- Que cause o menor impacto nas áreas adjacentes da linha de costa.
- A área de aproximação, de entrada e interiores são navegáveis.

A escolha do design do molhe é um grande passo no sentido de cumprir esses requisitos. Desenvolver um layout ideal e de baixo custo, a partir dos requisitos funcionais, muitas vezes ocorre na fase inicial de um projeto, mas é da maior importância para o resultado final.

A penetração das ondas em uma via navegável depende da largura da entrada do canal e orientação em relação às ondas incidentes. A perturbação de onda na entrada do canal também é dependente do grau de dissipação de energia das ondas pelas bordas. Alguns designs das faces internas dos molhes e em frentes a ancoradouros podem também aumentar a perturbação de onda dentro da foz. Por exemplo, paredes verticais podem ser preferidas para atracação, mas podem aumentar a reflexão das ondas e, consequentemente, aumentar a agitação para as embarcações.

Uma entrada estreita e bem orientada pode reduzir o comprimento dos molhes necessários para um determinado nível de agitação de onda aceitável no interior do canal. No entanto, o projeto da entrada também precisa levar em conta as exigências de navegação, tais como o espaço de manobra necessário. A modelagem numérica de ondas e correntes pode ser usada para otimizar layouts dos molhes para garantir uma proteção adequada na sua porção interna.

É provável que os enrocamentos criem novas áreas de fundeio de embarcações no mar, principalmente em sua porção Sul, bem como áreas em ambas as margens da foz, pelo abrigo proporcionado.

Vale ressaltar que os enrocamentos propostos como elementos de estabilização da foz do Rio Juqueriquerê serão ancorados em ambas as margens da foz fluvial. Atualmente, a margem sul é ladeada por muros e estruturas diversas de proteção desta margem, rampas de barcos de marinas, estruturas urbanas e pequenos canais que interligam o canal principal a uma drenagem desenvolvida sobre a planície costeira à retaguarda.

No lado norte do canal do Rio Juqueriquerê, nas proximidades de sua foz, margeando o canal encontra-se um ambiente de mangue preservado, sem a presença de estruturas antrópicas que se interponham entre o rio e o mangue.

A proteção da margem sul do canal fluvial compreenderá a estabilização de toda a face da curva final da foz do rio, onde também será ancorado o enrocamento, que a partir desta margem se projeta em direção ao oceano. Somente nos eventuais pontos onde atualmente a dinâmica do canal do rio se interliga com a drenagem da planície à retaguarda, será adotada como solução de

engenharia a instalação de elementos filtrantes que não interrompa a hidrodinâmica deste sistema.

Na margem oposta, norte, onde a curva do canal fluvial é ladeada pelo mangue, o enrocamento não se constituirá de elementos físicos de contenção, e consequente impermeabilização da face fluvial.

A necessidade de permitir as oscilações dos ciclos de maré enchente e vazante, sobre a planície de mangue, implica na adoção de estruturas de ancoramento do enrocamento norte, com elementos de estruturas vazadas, ou filtrantes, que não se interponham aos ciclos de variação das marés nesta margem do canal.

Desta forma, os acessos aos enrocamentos ao sul e a norte do eixo do canal ocorrerá de forma distinta. O enrocamento a sul estará interligado diretamente a malha urbana do município, enquanto o acesso ao enrocamento a norte só acontecerá através da face praial. A preservação da área de mangue, bem como o próprio rio se interpõem a que a malha viária urbana do município possa ser interligada diretamente com a estrutura física deste elemento projetado para a estabilização da foz.

Alternativas de Design

Este item apresenta variações de design esquemático para a estabilização da Foz do Rio Juqueriquerê (Figura 3.8.13.a).

Vale lembrar que seus objetivos são propor um canal de acesso com um design bem concebido, que possa trazer segurança à navegação dos pescadores, com reflexo direto em benefícios econômicos e sociais, sem promover impactos ambientais, ao mesmo tempo que tenha potencial para expandir as opções de lazer e serviços disponíveis, e desenvolvendo uma região com ampla gama de usuários e embarcações.

Como parte da concepção do design, uma extensa pesquisa de condições locais foi realizada resultando em 4 alternativas as quais foram comparadas por meio de uma matriz multicritério, a qual será avaliada de forma participativa de

modo à Prefeitura e usuários final participarem ativamente do processo de escolha da alternativa final.

As alternativas sugeridas são:

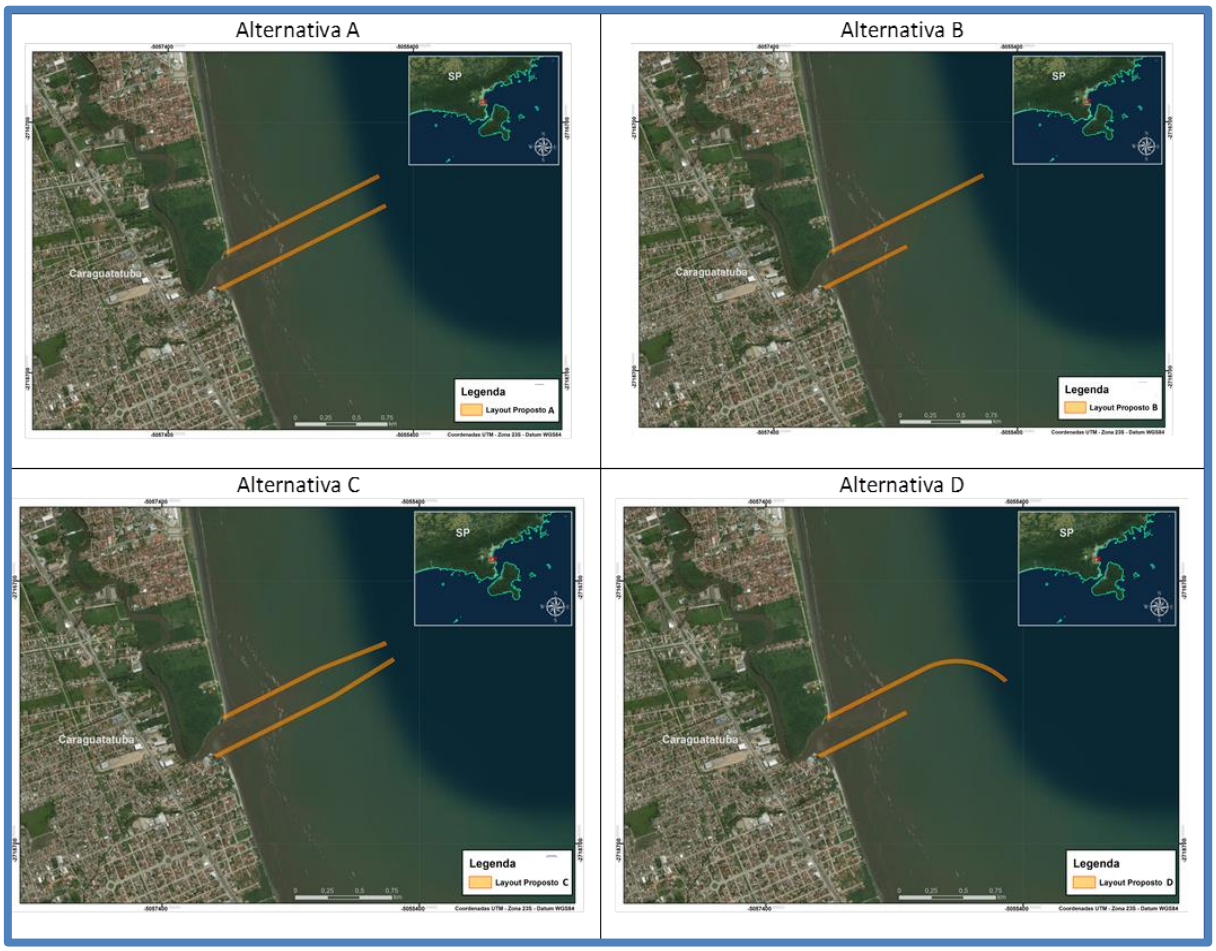


Figura 3.8.13.a: Alternativas de projeto de estabilização da Foz do Rio Juqueriquerê

- Alternativa A: A alternativa A considera os molhes retilíneos, perpendiculares à linha de costa. Os molhes apresentam o mesmo comprimento (Sul e Norte), e alcançam até a profundidade de 1,5 m (cerca de 1.270 m de extensão).

- Alternativa B: A alternativa B considera os molhes retilíneos, perpendiculares à linha de costa, porém sendo o molhe á Sul mais curto que o molhe à Norte, considerando o sentido preferencial do transporte costeiro (molhe Sul com cerca de 680 m de extensão, a cerca de 1,0m de profundidade).

- Alternativa C: A alternativa C considera os molhes retilíneos, perpendiculares à linha de costa, porém com um afunilamento do canal em seu acesso. Os molhes apresentam o mesmo comprimento (Sul e Norte), e alcançam até a profundidade de 1,5 m (com cerca de 1.270 m de extensão).

- Alternativa D

A Alternativa D considera o molhe Norte curvilíneo no sentido à Sul como forma de proteção das ondas incidentes. Já o molhe Sul é mais curto que o molhe Norte, devido à orientação do transporte de sedimentos no local (molhe Sul com cerca de 680 m de extensão, a cerca de 1,0m de profundidade).

Para comparar as alternativas propostas em função dos aspectos mais relevantes foi construída uma matriz multicritério de comparação contendo os aspectos apresentados a seguir. Cada critério possui uma pontuação de 1 a 5, sendo 1 a menos favorável e 5 a mais favorável. A cada elemento foi atribuído um peso entre 1 e 3 dependendo da sua relevância. A seguir são apresentados os quesitos considerados.

Vele lembrar que estes quesitos aqui considerados não finaliza o processo de escolha, devendo a matriz ser levada à Prefeitura e aos pescadores do Juqueriquerê para complementação com quesitos relevantes para os mesmos, para que a seleção da alternativa mais adequada seja feita de forma participativa.

Assim, temos:

- Custo – Pontuação relativa à construção do quebra-mar e dragagem do canal de acesso.

- Quebra-mar R$ 4.500,00 por metro linear (estimativa).
- Dragagem do Canal R$ 10,00 por metro cúbico (estimativa).

Tabela 3.8.13.a: Volumes de Dragagem

Alternativa	Volume Estimado de Dragagem (m³)
A	224.394,14
B	225.416,61
C	219.662,39
D	247.793,45

Tabela 3.8.13.b: Pontuação relativa à construção dos molhes e dragagem do canal de acesso (estimativa)

Pontuação	Faixa de custo (R$)
1	14.500.000,00 – 12.500.000,00
2	12.500.000,00 – 10.500.000,00
3	10.500.000,00 – 8.500.000,00
4	8.500.000,00 – 6.500.000,00
5	6.500.000,00 – 4.500.000,00

- Possibilidade de expansão dos molhes – em caso de necessidade futura de aumento da profundidade do canal - Pontuação: 5 para expansão e 1 para não expansão;

- Preservação da praia – e eventuais impactos causados após a construção dos molhes Pontuação: 5 para preservação e 1 para não preservação;

- Condições na entrada do canal – Pontuação relativa a média das ondas na entrada do canal externo;

Tabela 3.8.13.c: Pontuação relativa a média das ondas na entrada do canal externo.

Pontuação	Altura de onda (m)
1	0,4 – 0,5
2	0,3 – 0,4
3	0,2 – 0,3
4	0,1 – 0,2
5	0 – 0,1

- Navegabilidade – Pontuação relativa ao ângulo da entrada em relação ao canal de navegação;

Tabela 3.8.13.d: Pontuação relativa ao ângulo da entrada em relação ao canal de navegação.

Pontuação	Ângulo (graus)
1	40 – 50
2	30 – 40
3	20 – 30
4	10 – 20
5	0 – 10

- Segurança dos banhistas às embarcações – Pontuação relativa ao nível de isolamento entre a área de banhistas e o tráfego de embarcações;

Tabela 3.8.13.e: Pontuação relativa ao nível de isolamento entre a área de banhistas e o tráfego de embarcações

Pontuação	Grau de Isolamento
1	Inexistente
5	Máximo

Para dar suporte a pontuação, os dados de cada critério foram comparados na Tabela 3.8.13.f. A Tabela 3.8.13.g apresenta a pontuação de todas as alternativas e critérios em função das notas e pesos adotados.

Tabela 3.8.13.f.: Matriz de comparação das características de cada alternativa dos molhes da Foz do Rio Juqueriquerê

Quesitos	Alternativas			
	A	B	C	D
Extensão máxima do molhe (m)	1267	1267	1275	1403
Extensão do canal (m)	1361	1361	1361	1314
Possibilidade de expansão	sim	sim	sim	não
Preservação da praia	sim	sim	sim	sim
Altura de onda média na entrada do canal (m)	0,3	0,4	0,23	0,1
Facilidade de navegação (ângulo de entrada aprox..)	0	0	0	40
Segurança dos banhistas quanto a navegação	5	3	5	3

Tabela 3.8.13.g.: Matriz multicritério de comparação das alternativas dos molhes de estabilização da Foz do Rio Juqueriquerê.

Característica	Peso	Alternativa			
		A	B	C	D
Custo	**3**	1	2	1	2
Extensão máxima do quebra-mar (m)	**2**	3	3	3	2
Extensão do canal (m)	**1**	4	4	4	5
Possibilidade de expansão	**1**	3	3	3	2
Preservação da praia	**2**	5	5	5	5
Altura de onda média na entrada do canal	**3**	2	1	3	5
Facilidade de navegação (ângulo de entrada)	**1**	5	5	5	1
Segurança dos banhistas quanto a navegação	**2**	5	3	5	3
Pontuação Total		47	43	50	49

Com base nesta matriz multicritérios e em consenso comum entre os fatores envolvidos no projeto, percebe-se que a Alternativa C é a indicada nesse estudo como mais adequada. Assim, em seguida serão apresentados detalhamentos complementares do estudo de ondas e transporte de sedimentos para a alternativa C.

Todavia, em razão da similaridade da pontuação obtida para a alternativa D, são também apresentados os mesmos detalhamentos para gerar mais subsídios de comparação entre as Alternativas C e D.

Vale lembrar que a matriz elaborada (Tabela 3.8.13.g) deve passar por avalição da Prefeitura e usuários finais, para validação e novas considerações.

3.8.14. Complementação das Alternativas

As medidas gerais das alternaticas C e D podem ser observadas na Figura 3.8.14.a.

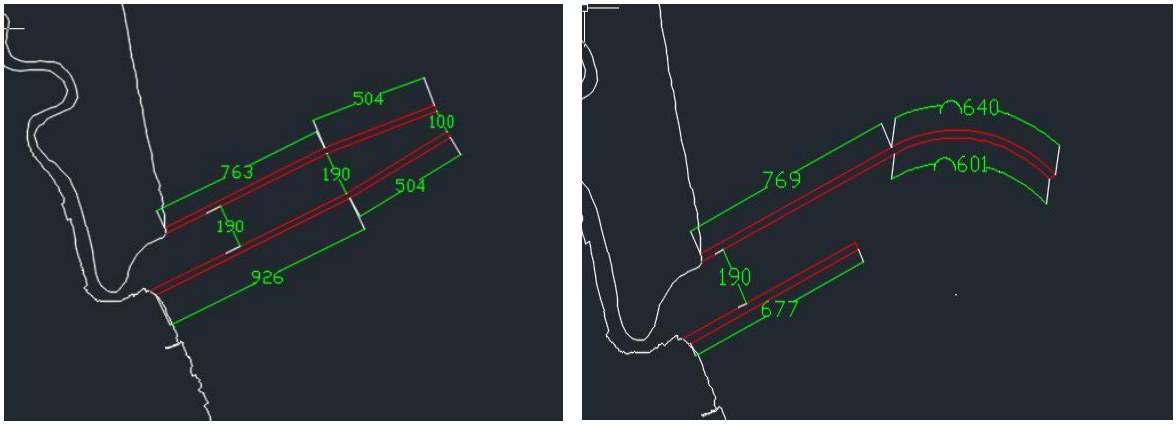


Figura 3.8.14.a: Dimensões avaliadas das alternativas C e D dos enrocamentos

- Detalhamento - Alternativa C

Com o objetivo de caracterizar os processos que as ondas sofrem em sua propagação, uma vez que incidem sobre as estruturas propostas pela alternativa C, são apresentados a seguir o padrão de propagação das ondas que representam as seguintes condições de verão e inverno.

A análise das ondas em frente à Foz do Rio Juqueriquerê e sua descrição são realizadas através de mapas de magnitudes das alturas significativa das ondas, e pela direção média de propagação, indicados por vetores.

Cada caso representa o comportamento das ondas diante de condições combinadas em águas profundas (E, ESE, SE), modeladas até a região costeira, conforme citado anteriormente.

As ondas que incidem sobre a região, ao se propagarem, sofrem uma série de processos de transformação que as condicionam a incidir sobre a zona costeira com uma direção mais ortogonal possível à linha de costa.

Tal padrão gera processos de convergência, ou divergência, na medida em que estas incidem sobre a região de configuração rasa.

Os resultados apresentados na Figura 3.8.14.b apontam que a Alternativa C protege a movimentação de embarcação no interior das estruturas das ondas de E.

Já as ondas de ENE incidem diretamente sobre a região do canal de navegação, gerando ondulações maiores no interior das estruturas.

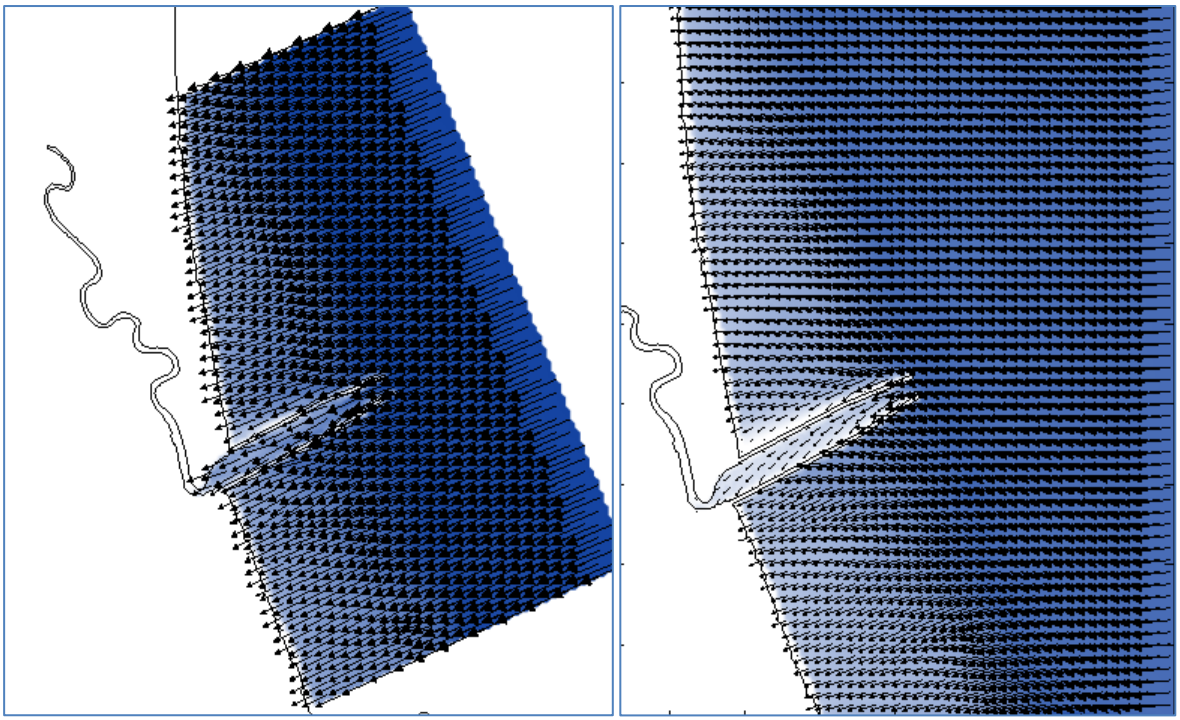


Figura 3.8.14.b: Alternativa C. Altura significativa de onda e direção associada ao período de pico, para uma ondulação típica de verão com Hs=0,70m, Tp=4,5s, proveniente de ENE (painel à esquerda), e ondulação típica de inverno com Hs=0,88m, Tp=6,6s, proveniente de E (painel à direita).

A Figura 3.8.14.c abaixo representa as ondas que incidem sobre os pontos P1 a P3 após a construção da Alternativa C para o período completo de verão e inverno.

Os resultados mostram que as ondas no Ponto 2 são as menos intensas pois estão em um local mais protegido pelos molhes. Uma vez que encontram os molhes as ondas tendem a posicionar-se mais perpendiculares à linha de costa, o que lhes confere direções semelhantes entre os três pontos analisados.

O Ponto 3 foi o que apresentou maiores alturas, por estar menos protegido das ondulações incidentes de E. Mas vale ressaltar que as ondas que incidem sobre a região da Enseada de Caraguatatuba sofrem uma série de processos de transformação de energia ao se propagarem em áreas mais rasas, o que lhes confere baixa energia em todo o período estudado.

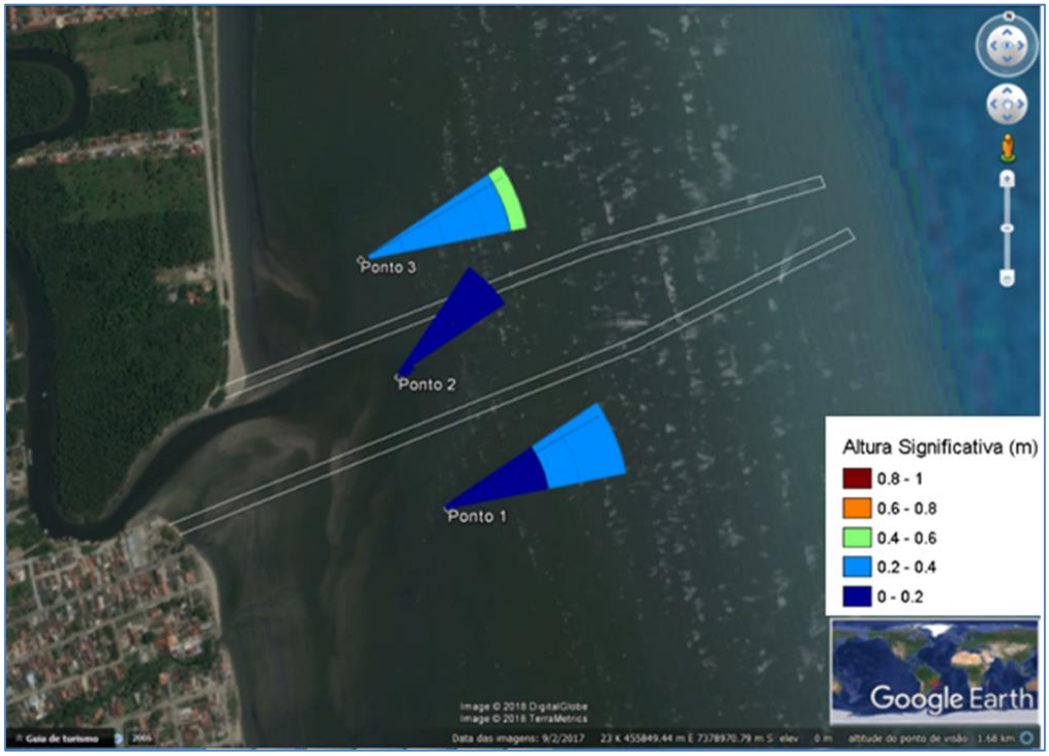


Figura 3.8.14.c: Histograma direcional da altura significativa (m) para os meses de estados de mar propagados no período de verão e inverno após a construção da Alternativa C, em frente à foz do Rio Juqueriquerê, na enseada de Caraguatatuba.

Também foram analisados os resultados de transporte de sedimentos seguindo a metodologia já indicada anteriormente, além do posicionamento dos perfis de cálculo. Foram realizadas médias do transporte de sedimento no período de verão e inverno.

É possível observar na Figura 3.8.14.d que o transporte litorâneo na Praia de Caraguatatuba, na região da Foz do Rio Juqueriquerê após a construção da Alternativa C, apresenta um padrão de transporte de sedimentos preferencialmente em direção à Sul, influenciado pela obliquidade das ondas que incidem sobre a região, gerando correntes no sentido longshore (ao longo da linha de costa), em diferentes intensidades.

Já a partir do perfil T5, localização de construção do molhe à sul, o transporte apresenta um padrão no sentido oposto, o que acarretará em um acúmulo de sedimentos no local do molhe sul (a barra vermelha indica inversão do sentido do transporte).

A partir do T6 o transporte volta a ser no sentido Sul, ficando evidente que a região apresentará um ponto de erosão devido à divergência no sentido do transporte nesta região.

Os resultados obtidos indicam que o volume de transporte nos perfis é muito similar em toda a região estudada O baixo volume de transporte em todos pontos analisados é decorrente das baixas intensidades das características hidrodinâmicas locais, mais especificamente das correntes que transportam estes sedimentos ao longo da linha de costa.

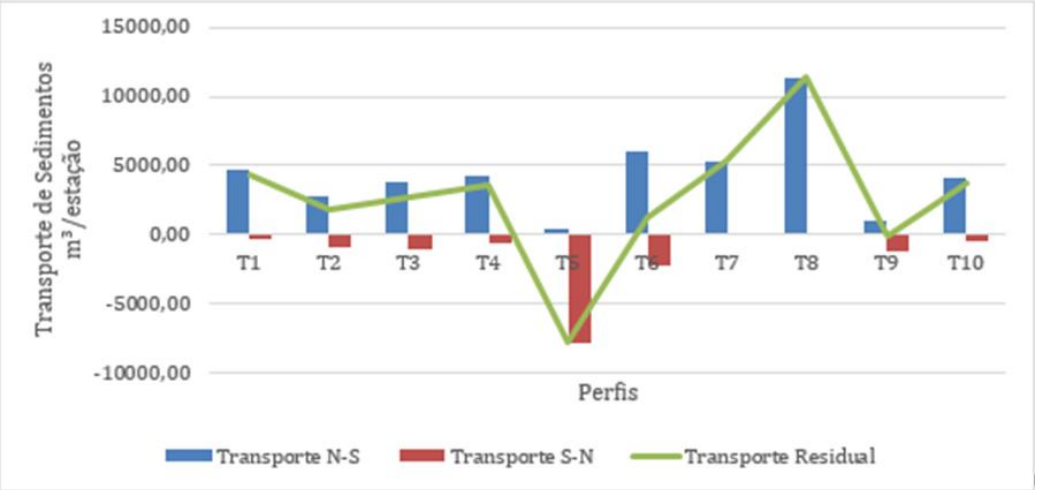


Figura 3.8.14.d: Transporte de sedimentos médio para o período de inverno e verão de 2017 após a construção da alternativa C, nos 10 perfis estudados.

Com o objetivo de caracterizar os impactos decorrentes da instalação das obras objetivando a estabilização da Foz do Rio Juqueriquerê, foi também avaliada a morfologia e a estabilidade futura da linha de costa.

Para o estudo da forma em planta, além de assumir uma hipótese sobre a complexidade dos processos litorais e seu estado de equilíbrio, se assume como ponto de partida que o perfil da praia sempre alcança sua posição de equilíbrio. A partir das condições de contorno e as características médias das ondas, a forma em planta de equilíbrio pode ser prevista através da utilização de modelos semi-empíricos, onde o transporte líquido longitudinal em cada seção da praia é nulo.

Dentro dos diferentes modelos existentes na bibliografia para definir a forma em planta de equilíbrio de uma praia, a parábola de Hsu & Evans (1989) é a mais utilizada por que permite o ajuste da forma em planta das praias. Segundos os autores, a expressão que define a parábola é a seguinte:

$$\left(\frac{R}{R_0}\right) = C_0 + C_1\left(\frac{\beta}{\theta}\right) + C_2\left(\frac{\beta}{\theta}\right)^2$$

onde,

R: raio vetor, medido desde o ponto de difração, que define a forma da praia,

R0: raio vetor, medido desde o ponto de difração, que corresponde ao extremo abrigado da praia,

Co, C1, C2 : coeficientes em função de β,

β: ângulo (fixo) formado entre a direção das ondas e o raio vetor R0,

θ: ângulo (variável) entre a direção das ondas e o raio vetor R.

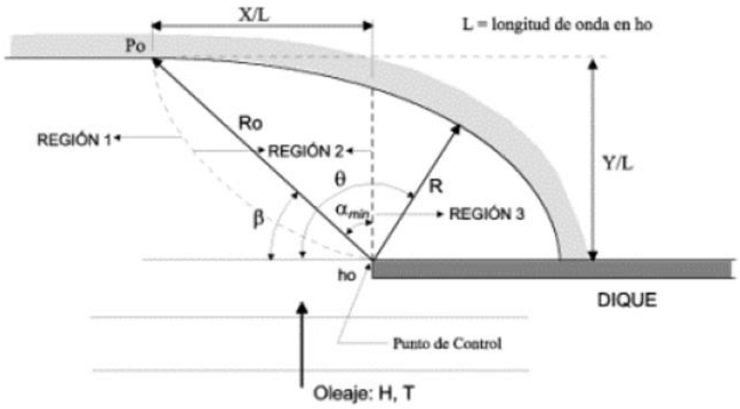


Figura 3.8.14.e: Diagrama para a definição das variáveis da forma em planta de equilíbrio. Fonte: “Documento temático: Regeneración de Playas”, GIOC (Universidad de Cantabria) e Dirección General de Costas (MMA)

A partir dessa fórmula, González & Medina (2001) desenvolveram uma metodologia que permite a previsão e o desenho da forma em planta de praias de enseada, onde o ângulo β = 90º - αmin é função de:

- O número de comprimentos de onda ou distância adimensional que exista até a linha de costa (Y/L), sendo Y a distância até a linha de costa e L comprimento de onda.

- A direção de onda, que corresponde à direção do fluxo médio de energia na zona do ponto de difração (ponto de controle).

- Desde o ponto de vista da incidência das ondas, se define neste tipo de modelo três tipos de regiões:

- Região 1: não existe efeito do dique sobre as ondas e o gradiente de altura de onda na quebra é nulo.

- Região 2: as ondas não são modificadas em sua direção de propagação, mas a difração no dique cria um gradiente longitudinal de altura de onda.

- Região 3: alteração da direção de propagação e da altura das ondas na quebra por efeito combinado da refração e da difração.

Essa metodologia preditiva da forma em planta de equilíbrio está incluída no Sistema de Modelado Costeiro, do Grupo de Engenharia Oceanográfica e de Costas (GIOC) da Universidade de Cantábria, cujas ferramentas foram utilizadas para o desenvolvimento desse estudo.

Seguindo a metodologia já indicada foi analisada a forma em planta da desembocadura da Foz do Rio Juqueriquerê utilizando o módulo de Modelado de Terreno do SMC, o qual incorpora diversas formulações empíricas para se determinar a forma em planta de uma praia seguindo a metodologia de Gonzalez & Medina (2001).

Devido o significado de “praia de enseada” estar associado a uma forma, cujas configurações em planta e perfil se encontram confinados lateralmente por contornos impermeáveis, naturais ou artificiais, e o fundo está coberto em sua maior parte por areia muito fina, pode-se considerar a Enseada de Caraguatatuba, após a implantação da alternativa C, como uma praia que se inicia na área dos molhes, e que lhe confere uma forma de meia parábola.

Portanto, as formas em planta da desembocadura da Foz do Rio Juqueriquerê ficam definidas através de parábolas de Hsu & Evans (1989), associada ao elemento difrator na incidência das ondas, definidas pelas estruturas dos molhes propostos.

A forma em planta ajustada apresenta uma tendência de onde a linha de costa tende a posicionar-se em função da construção das estruturas. Na Figura 3.8.14.f está representada em azul a forma em planta de equilíbrio média da região após a construção dos molhes da Alternativa C.

Vale ressaltar que é proposto que o sedimento da dragagem de aprofundamento do canal seja disposto na porção à sul do quebra mar Sul, com o objetivo de estabilizar a linha de costa local, evitando desta forma qualquer processo de retração de linha de costa local.

Figura 3.8.14.f: Forma em planta de equilíbrio após a construção dos molhes de estabilização da Foz do Rio Juqueriquerê, Alternativa C, e a localização dos Pontos de Difração responsáveis pela dinâmica costeira.

- Detalhamento - Alternativa D

Da mesma forma que para a alternativa anterior, com o objetivo de caracterizar os processos que as ondas sofrem, é apresentado em seguida o padrão de propagação das ondas em condições de verão e inverno, considerando a interação da incidência sobre as estruturas propostas pela alternativa D.

Como foi mencionado anteriormente, a descrição foi realizada através de mapas de magnitude das alturas significativa das ondas e pela direção média de propagação, indicados por vetores.

Os resultados apresentados na Figura 3.8.14.g apontam que a Alternativa D protege a movimentação de embarcação no interior de ondas de ENE, gerando uma zona de sombra no setor mais curvilíneo do molhe, com ondas chegando próximo à foz do Rio com menos energia. Já as ondas de E conseguem entrar mais na região se comparado às ondas de ENE, porém com menor intensidade e maior proteção do que visto na alternativa C.

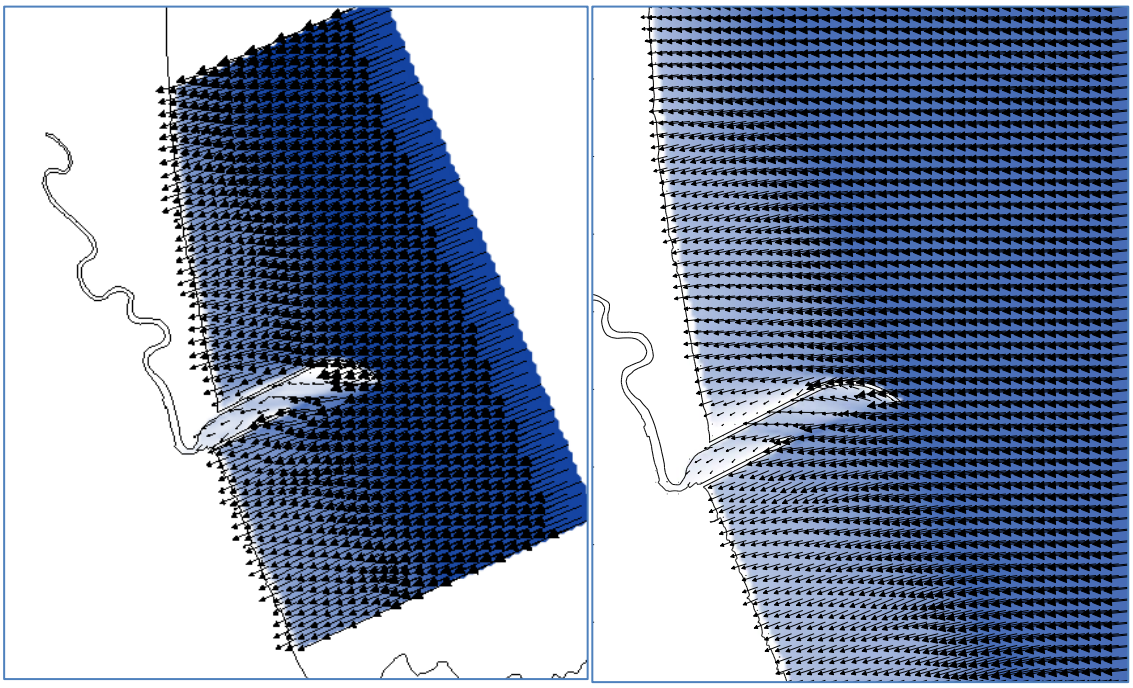


Figura 3.8.14.g: Alternativa D. Altura significativa de onda e direção associada ao período de pico, para uma ondulação típica de verão com Hs=0,70m, Tp=4,5s, proveniente de ENE (painel à esquerda), e ondulação típica de inverno com Hs=0,88m, Tp=6,6s, proveniente de E (painel à direita).

A Figura 3.8.14.h representa as ondas que incidem sobre os pontos P1 a P3 após a construção da Alternativa D para o período completo de verão e inverno.

Os resultados mostram que as ondas no Ponto 2 são as menos intensas pois estão em um local mais protegido pelos molhes. Quando encontram os molhes as ondas tendem posicionar-se mais perpendiculares à linha de costa, o que lhes confere direções semelhantes entre os três pontos analisados.

O Ponto 3 foi o que apresentou maiores alturas, por estar menos protegido das ondulações incidentes de E. Importante ressaltar que as ondas que incidem sobre a região da Enseada de Caraguatatuba sofrem uma série de processos de transformação de energia ao se propagarem em áreas mais rasas, o que lhes confere baixa energia em todo o período estudado.

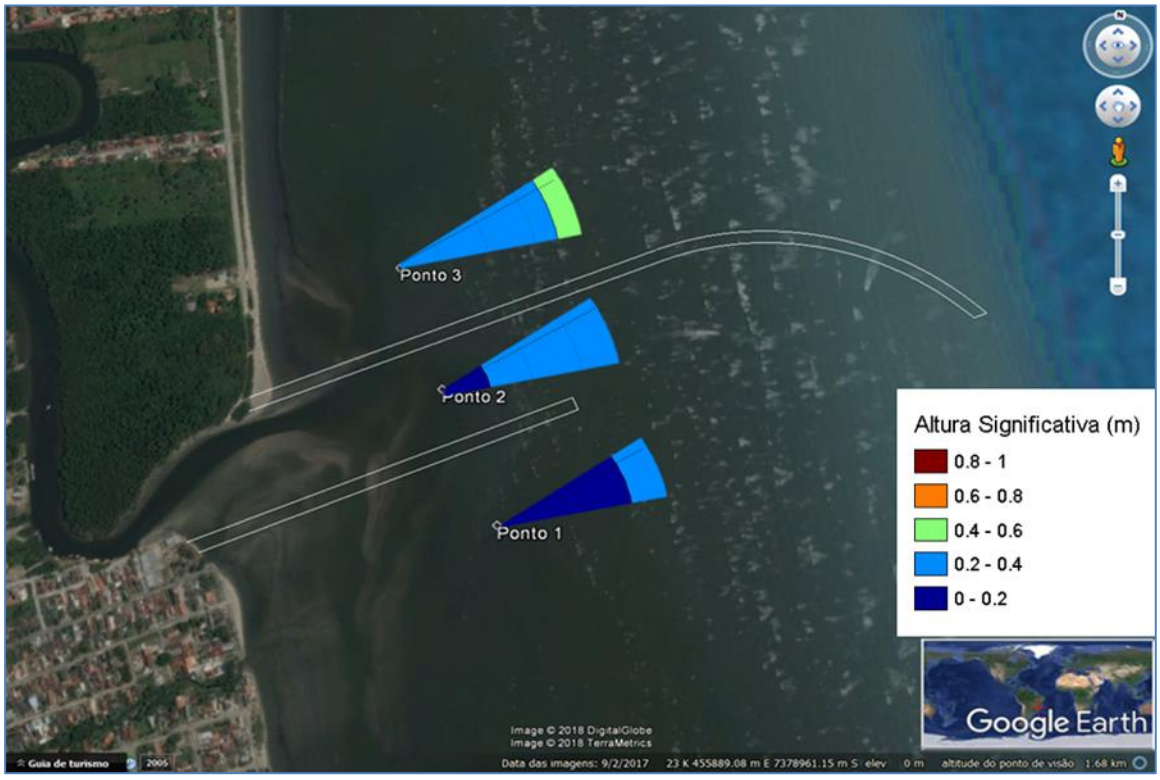


Figura 3.8.14.h: Histograma direcional da altura significativa (m) para os meses de estados de mar propagados no período de verão e inverno após a construção da alternativa D, em frente à foz do Rio Juqueriquerê, na enseada de Caraguatatuba.

Também foram analisados os resultados de transporte de sedimentos seguindo a metodologia indicada anteriormente. Foram realizadas médias do transporte de sedimento no período de verão e inverno.

É possível observar na que o transporte litorâneo na Praia de Caraguatatuba, na região da Foz do Rio Juqueriquerê após a construção da Alternativa D, apresenta um padrão de transporte de sedimentos preferencialmente em direção à Sul, influenciado pela obliquidade das ondas que incidem sobre a região, gerando correntes no sentido longshore em diferentes intensidades.

Já a partir do perfil T5, localização de construção do molhe à sul, o transporte apresenta um padrão no sentido oposto, o que acarretará em um acúmulo de sedimentos no local do molhe sul, com maior intensidade se comparado à alternativa C. Uma vez que a partir do T7 o transporte volta a ser no sentido Sul, fica evidente que nesta região sofrerá um ponto de erosão devido à divergência no sentido do transporte nesta região, atingindo uma área maior do que seria visto na alternativa C.

Os resultados mostram o volume de transporte nos Perfis é muito similar em toda a região estudada. O baixo volume de transporte em todos pontos analisados é decorrente das baixas intensidades das características hidrodinâmicas locais.

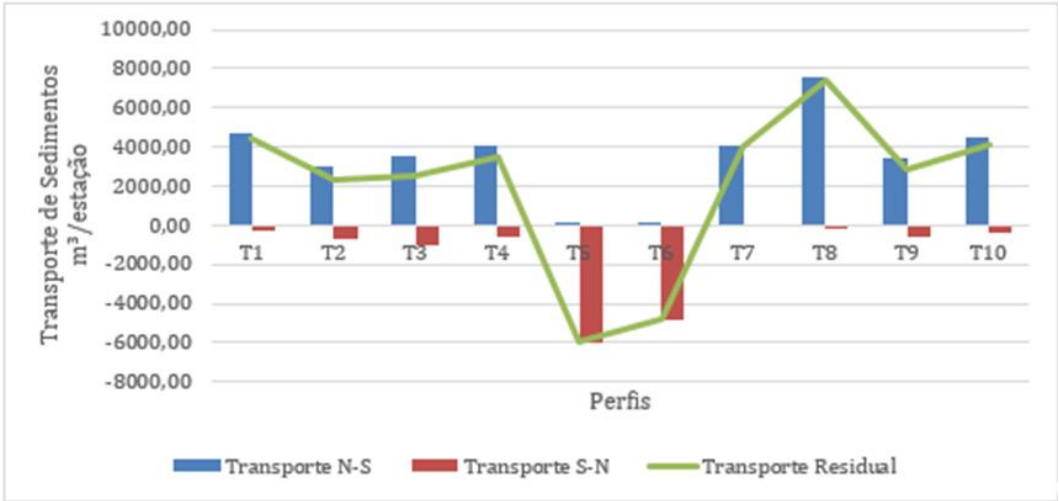


Figura 3.8.14.i: Transporte de sedimentos médio para o período de inverno e verão de 2017 após a construção da alternativa D, nos 10 perfis estudados

Seguindo a metodologia descrita neste relatório para caracterizar os impactos decorrentes da instalação da estabilização da Foz do Rio Juqueriquerê, foi analisada a forma em planta da desembocadura da Foz do Rio Juqueriquerê utilizando o módulo de Modelado de Terreno do SMC, o qual incorpora diversas formulações empíricas para se determinar a forma em planta de uma praia seguindo a metodologia de Gonzalez & Medina (2001).

Devido o significado de “praia de enseada” estar associado a uma forma, cujas configurações em planta e perfil se encontram confinados lateralmente por contornos impermeáveis, naturais ou artificiais, e o fundo está coberto em sua maior parte por areia muito fina, pode-se considerar a Enseada de Caraguatatuba, após a instalação da alternativa C, como uma praia que se inicia na área do molhes, o que lhe confere uma forma de meia parábola.

Portanto, as formas em planta da desembocadura da Foz do Rio Juqueriquerê ficam definidas através de parábolas de Hsu & Evans (1989), associada ao elemento difrator na incidência das ondas, definidas pelas estruturas dos molhes propostos.

A forma em planta ajustada apresenta uma tendência de onde a linha de costa tende a se posicionar em função da construção das estruturas. Na Figura 3.8.14.j está representada em azul a forma em planta de equilíbrio média da região após a construção dos molhes da Alternativa D.

Vale lembrar que é proposto que o sedimento da dragagem de aprofundamento do canal seja disposto na porção à sul do quebra mar Sul, com o objetivo de estabilizar a linha de costa local, evitando desta forma qualquer processo de retração de linha de costa local.

Figura 3.8.14.j: Forma em planta de equilíbrio após a construção dos molhes de estabilização da Foz do Rio Juqueriquerê, Alternativa C, e a localização dos Pontos de Difração responsáveis pela dinâmica costeira

4. Relação com a Comunidade e Contato com as Entidades Representativas da Atividade Pesqueira

4.1. Aviso do Fundeio do ADCP

O maior risco da atividade de coleta dos dados oceanográficos consiste no seu extravio devido às atividades de arrasto com redes para a pesca do camarão, apesar de não permitidas neste trecho, visto que o ADCP fica instalado no mar, possibilitando enrosco em redes e sujeito a vandalismos e furto.

Para reduzir essas possibilidades, a comunidade pesqueira foi informada da localização do equipamento.

Para tanto, algumas instituições foram visitadas e avisadas da instalação do equipamento, indicando sua região de fundeio e a existência de sinalização com boia e bandeira no local. Foi solicitado apoio à comunidade pesqueira para evitar arrasto, fundeio e mesmo a navegação nas proximidades do equipamento.

Foram visitadas às seguintes instituições:

- Associação dos Pescadores do Juqueriquerê
- Associação dos Pescadores do Camaroeiro
- Colônia de Pesca de Caraguatatuba
- Colônia de Pesca de São Sebastião
- Cooperativa de Pesca de São Sebastião
- Rancho de Pesca da Praia da Enseada
- Racho de Pesca do Pontal da Cruz

Nestas, foi descrito o equipamento e a finalidade do mesmo aos Presidentes, Diretores, Secretárias e pescadores, sendo solicitado apoio na divulgação da informação, o que foi amplamente aceito de forma colaborativa por todos.

O cartaz que segue foi fixado em algumas dessas localidades, reforçando a divulgação da colaboração e vigia do equipamento, sendo entendida a importância por todos (Figura 4.1.a).

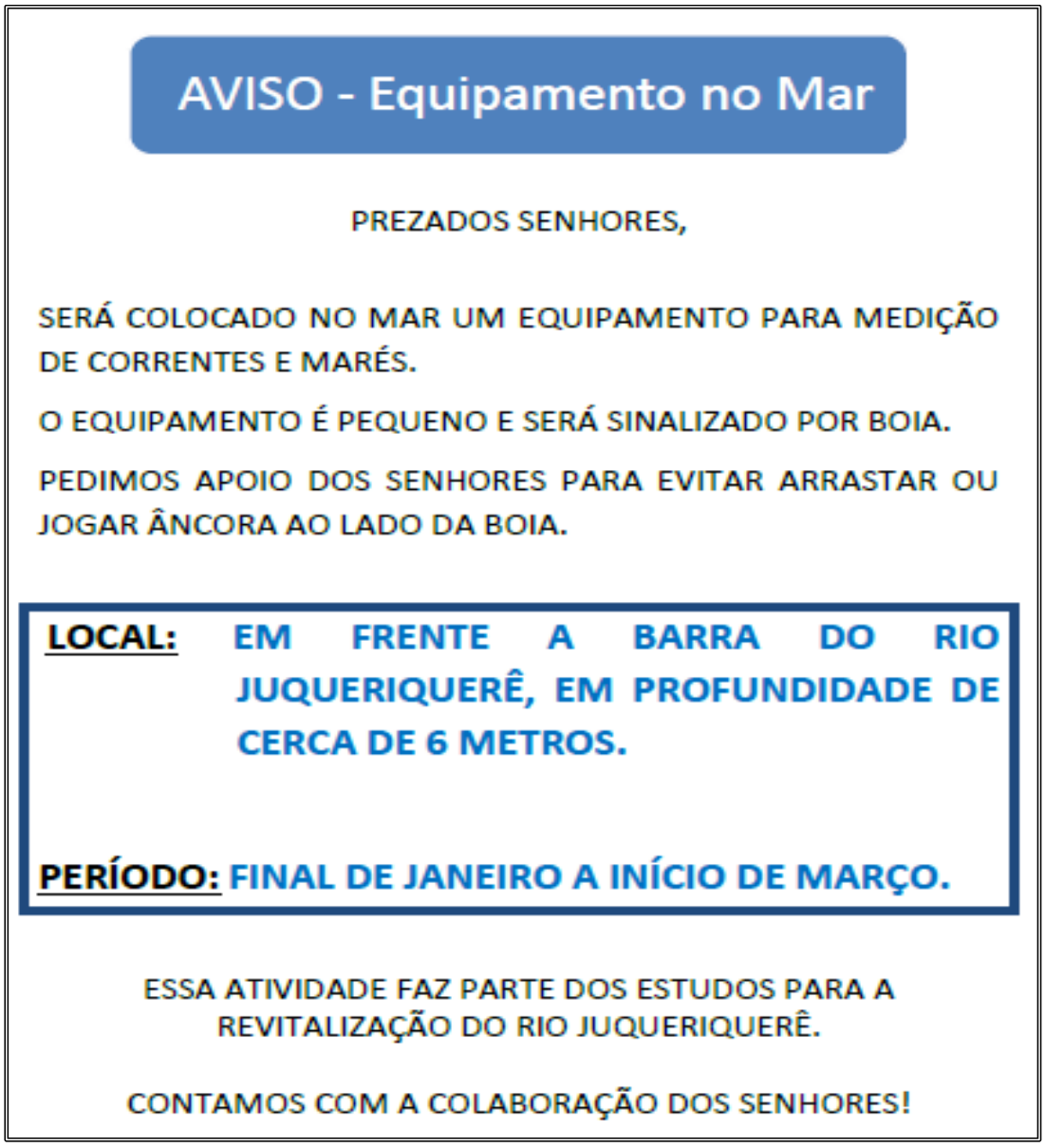


Figura 4.1.a: Cartaz fixado em associações e colônias avisando do fundeio de ADCP e solicitando atenção do pescador ao arrastar ou fundear nas imediações.

As boias e bandeiras de sinalização, luminosas ou não, foram substituídas algumas vezes, visto que elas foram retiradas de seu local. No Fundeio de inverno, optou-se por não identificar a localização do ADCP, de modo a não estimular curiosidades sobre as marcações no ponto onde o equipamento se encontrava.

Todavia, o equipamento possivelmente foi arrastado e retirado do local. Ações de recuperação com mergulhadores e emprego de Sonar de Varredura Lateral não encontraram o equipamento. Vale lembrar o mesmo foi fundiado em local de arrasto proibido, conforme o Zoneamento Ecológico Econômico do Litoral Norte.

4.2. Relação com a Comunidade

Por duas oportunidades houve reuniões e apresentação pública do presente estudo à comunidade do Juqueriquerê, ou Bairro Porto Novo. As reuniões foram realizadas em escola municipal do Bairro, com a presença de autoridades e munícipes, como o Prefeito Municipal, Vice-Prefeito, Vereadores, Secretários municipais, pescadores, moradores dos bairros vizinhos e comunidade geral de interessados na Revitalização do Rio Juqueriquerê.

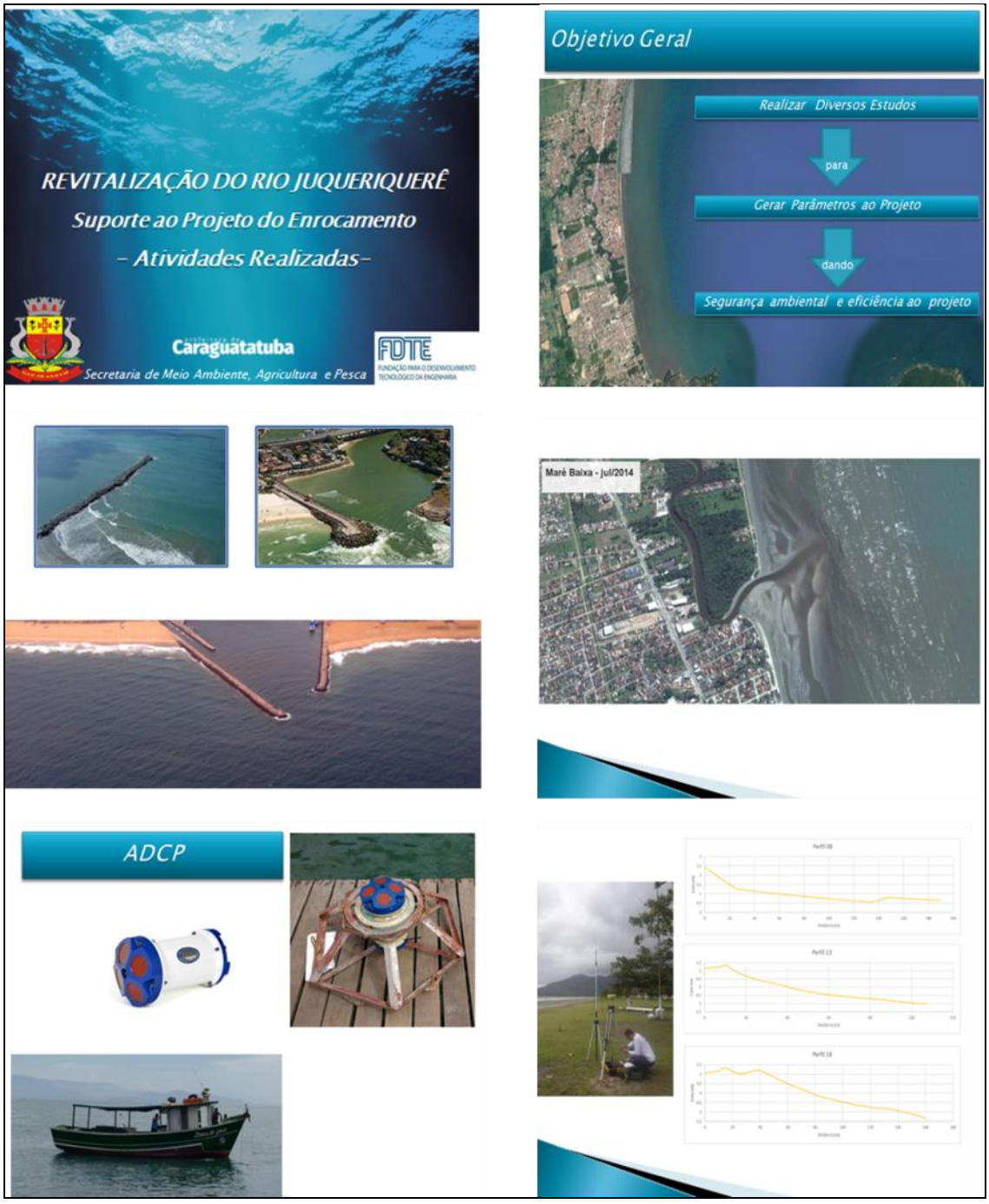
Nas apresentações foram mostradas imagens e figuras, para compreensão da população sobre os estudos realizados, assim como também mostrados os primeiros resultados obtidos. Houve alguma discussão, muito positiva, com colocações pertinentes, onde com o apoio de todos e com uma integração de tecnologias com o conhecimento empírico local, se chegará certamente a um resultado final muito satisfatório aos interessados no estudo, a saber, munícipes, pescadores, moradores locais e outros usuários comprometidos com o Rio Juqueriquerê.

As figuras 4.2.a e 4.2.b mostram alguns dos slides apresentados aos participantes das reuniões. A apresentação integral, com 60 slides, foi disponibilizada à Secretaria de Meio Ambiente de Caraguatatuba.

No sentido de obter informações pretéritas do Rio Juqueriquerê, algumas entrevistas também foram realizadas com moradores da região. Foram conversas muito interessantes e enriquecedoras com pessoas com grande conhecimento das características do rio, devido suas experiências como pescadores ou marinheiros.

Fica aqui o registro de gratidão ao Sr. Pedro Paes, Sr. Manoel Pimenta e D. Davina às informações resgatadas e pelos agradáveis momentos quando fomos gentilmente recebidos em suas casas. Agradecimento também às informações e

valioso apoio dado pelos senhores Ronan, Anaildo dos Santos, Cíntia Freitas, Almir e Estéfano Bolognini.



A figura 4.2.a: Exemplos de slides apresentados nas reuniões

A figura 4.2.b: Exemplos de slides apresentados nas reuniões

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o objetivo de dar suporte à Prefeitura Municipal de Caraguatatuba, no que se refere à demanda dos pescadores do Bairro Porto Novo em se criar solução de segurança à navegação na barra do Rio Juqueriquerê, a FDTE desenvolveu estudos da hidrodinâmica e transporte de sedimentos na região, com vistas a indicar soluções e fornecer parâmetros para o projeto de enrocamento e estabilização de sua foz, ao mesmo tempo em que gerou subsídios para o Licenciamento Ambiental.

Foram realizados levantamentos de dados na região de interesse e praias adjacentes, foram implementados modelos numéricos (hidrodinâmico e transporte de sedimentos) e foi feito um estudo das alternativas viáveis para estabilização da Foz do rio Juqueriquerê.

O objetivo principal do levantamento foi gerar uma base de dados suficientemente robusta para o desenvolvimento das modelagens computacionais hidrodinâmicas e morfológicas dos fenômenos que se pretendia entender e reproduzir, para que a solução proposta desse conforto ao empreendedor, usuário e órgão ambiental licenciador. Para isso, foram realizados levantamentos topobatimétricos, caracterização sedimentar, coleta e análise de dados oceanográficos.

Os resultados do projeto foram apresentados em Relatórios Técnicos Parciais, cujo conteúdo destes foi consolidado neste Relatório Final. O Relatório Final, assim, contempla todas as informações e atividades desenvolvidas neste estudo e descritas em cada relatório parcial, acrescido agora das últimas modelagens, validações e proposição dos molhes.

Foi possível resgatar uma série de informações de usos passados e de interesse histórico e socioambiental da região.

Também foi possível, com base nas análises físico-químicas realizadas, atestar a boa qualidade dos sedimentos do Rio Juqueriquerê, no trecho avaliado, em conformidade com os valores máximos sugeridos pela resolução do Conselho

Nacional do Maio Ambiente (Res. CONAMA nº 454/2012) para gerenciamento de sedimentos dragados.

A análise dos perfis topográficos indicaram fisiografias diferentes em relação à porção norte e sul Rio Juqueriquerê. A porção sul é caracterizada por menores declividades e perfis mais longos com bancos e calhas, que em certos momentos estão dispostos mais distantes, e em outros se colam a linha de costa. Os perfis norte são mais inclinados e caracterizam um transporte longitudinal na faixa de arrebentação das ondas.

Os dados medidos pelo ADCP apontaram que a combinação das oscilações ocorridas devido às forçantes astronômicas, meteorológicas e de ressonância garantem variações da elevação da superfície do mar de até 1,5 m.

A análise dos dados de onda indica que o comportamento da agitação marinha na área de estudo é característico de mar de vento, também conhecidos como vaga, com ondas predominantes provenientes principalmente ENE com Hs de até 0,2 m e Tp de até 8 s. Os maiores valores de Hs e Tp observados foram de 0,6 m e 9,6 s, respectivamente.

As correntes apresentam comportamento relativamente concordante em toda coluna d'água e seguem principalmente na direção SE, com velocidades superficiais de até 0,1 m/s e máximas atingindo 0,28 m/s. A temperatura da água do mar medida próximo ao fundo variou de 25,7°C até 29°C.

A calibração das modelagens implementadas através das medições realizadas em campo, permitiram afirmar que os modelos hidrodinâmicos e de ondas implementados são capazes de reproduzir de forma satisfatória os padrões de circulação e propagação de ondas na Enseada de Caraguatatuba, tendo como maior limitante os padrões gerados por ventos locais.

A modelagem morfológica permitiu entender melhor o padrão de transporte na Enseada de Caraguatatuba e na foz do Rio Juqueriquerê. Uma vez conhecidos esse padrão foi mais eficiente a proposição de alternativas de engenharia costeira para a estabilização da Foz do Rio Juqueriquerê, bem como estudar as possíveis implicações destas intervenções nos padrões hidrodinâmicos e de transporte sedimentar.

Neste estudo, as 4 (quatro) alternativas avaliadas como intervenções que viabilizariam a estabilização física da Foz do Rio Juqueriquerê, foram consideradas sob aspectos conservadores em engenharia de obras costeiras, qual seja, o de utilização de blocos rochosos na construção de enrocamentos e de dragagem de sedimentos de fundo por processos de remoção mecanizada pós implantação dos enrocamentos ou molhes. Não foi escopo do presente estudo avançar em nível de detalhamento construtivo ou de projeto básico ou executivo, incluindo o planejamento de obras, definição de materiais, plano de dragagem ou mesmo o licenciamento ambiental.

As ponderações da matriz de multicritério apresentada sugerem critérios para uma relação de comparação entre as alternativas avaliadas, que após ponderação da Prefeitura Municipal e da comunidade de pescadores da região, confirmarão a indicação da alternativa mais favorável.

Considera-se assim, que parte importante do projeto já esteja superada, bem como fornecidos os pontos essenciais para o licenciamento ambiental. Cabe como próximos passos a avaliação do empreendedor (Prefeitura), dos usuários (pescadoes), elaboração do projeto executivo e obtenção da Licença ambiental, para que então seja iniciada a implantação da estabilização das margens e canal de acesso ao Juqueriquerê.

A FDTE se encontra a disposição para apresentação, discussão e apoio nas próximas etapas.

Atenciosamente,

_____

Bauer Rachid

5. BIBLIOGRAFIA

ABILHOA V, Braga RR , Bornatowski H, Vitule JRS (2011) Fishes of the Atlantic Rain Forest Streams: Ecological Patterns and Conservation. In: Grillo O, Venora G (org) Changing Diversity in Changing Environment. Rijeka, Intech, pp. 259-282.

BAILARD, J. A. 1981. An energetics total load sediment transport model for a plane sloping beach, Journal of Geophsical Research. 86 (C11), 10938-10954.

BAILARD, J.A. 1984. An simplified model for longshore sediment transport. Coastal Engineering Proceedings, No. 19, pp. 1454-1470.

BERKHOFF, J.C.W. 1972. “Computation of Combined Refraction-diffraction”. Proc. 13th Coastal Engineering Conference, ASCE, pp. 471-490.

BETTES, P.; ZIENKIEWICZ, O.C. 1977. "Diffraction and refraction of surface waves using finite and infinite elements." Int. J. Hum. Meth. Engng., Vol. 11, No. 8, pp. 1271-1290.

BIOADINÂMICA, 2006. Estudo de Impacto Ambiental da Unidade de Tratamento de Gás de Caraguatatuba. Volume I. 623 p.

BOOIJ, N. 1981. “Gravity Waves on Water with Non-uniform Depth and Currents”. Report Nº 81-1, Delft University of Technology, 131 pp.

BOWEN, A. J. 1969. Rip currents I. Theoretical investigations, J. Geophysical Research, vole 74, pp. 5467-5478.

BUCKUP, P.A. 1996. Biodiversidade dos Peixes da Mata Atlântica. Resultados do Workshop – Padrões de Biodiversidade da Mata Atlântica do Sudeste e Sul do Brasil. URL: http://www.bdt.org.br

CAMUS, P., 2009. Metodologías para la definición del clima marítimo en aguas profundas y someras: Aplicaciones en el corto, medio y largo plazo. Tesis doctoral. Universidad de Cantabria.

CAMUS, P., MÉNDEZ, F.J., IZAGUIRRE, C., REGUERO, B.G. & MEDINA, R., 2010. Statistical and dynamical downscaling to transfer wave climate to coastal areas. European Geosciences Union, May 02-07, Vienna, Austria.

CANDELLA, R.N., 1997. Estudo de Casos de Ondas no Atlântico Sul Através de Modelagem Numérica. Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. XIII, 80 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Oceânica).

CHU, V.C. & MEI, C.C. 1970. “On Slowly Varying Stokes Waves”. Journal of Fluid Mechanics, Vol 41, pp. 873-887.

CRUZ, O.; SUGUIO, K; EICHLER, B.B. 1985. Sedimentação acelerada de pontais e barras arenosas na Enseada de Caraguatatuba, SP; causas naturais e antrópicas. Boletim I.O.USP, v. 33, nº1, p. 39 – 53. São Paulo

DEAN, R.G. & DALRYMPLE, R.A., 1991. Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists. Advanced Series on Ocean Engineering, Vol. 2.

DEL VALLE, R., MEDINA, R., AND LOSADA, M. A. 1993. Dependence of coefficient K on grain size. Technical Note No. 3062, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering 119 (5), 568-574.

DJORDJEVIC, V.D. & REDEKOPP, L.G. 1978. "On the Development of Packets of Surface Gravity Waves Moving over and Uneven Bottom". Z. Angew. Math. and Phys., Vol 29, pp. 950-962.

FARINACCIO, A.; TESSLER, M.G. 2006. Dinâmica de sedimentação atual na Ponta do Camaroeiro, porção norte da enseada de Caraguatatuba, SP. Geociências, UNESP, v.25, nº 3; p. 331 – 344. São Paulo.

FOLK, R. L.; WARD, W. C., 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. J. sedim. Petrology, 27(1):3-27.

FOREMAN, M.G.G., 1979. Tidal Analysis Based on High and Low Water Observations. Pacifc Marine Science Report 79-15, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Victoria, B.C. 36 pp.

FRAGOSO, M. D. R. 2004. Um modelo numérico da circulação oceânica para as bacias leste e sudeste do Brasil (Doctoral dissertation, Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. 173p).

FRANKE, R., 1982. Scattered data interpolation: test of some methods. Math. Comp., 38, 181-200.

FURTADO, V.V. 1978. Contribuição ao estudo da sedimentação atual no Canal de São Sebastião, estado de São Paulo. Tese de doutoramento, vs I e II; Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

GALDINO, Clayton, 2004. A Fazenda dos Ingleses no Bairro do Porto Novo. Trabalho de conclusão do curso de especialização. Universidade Católica de Santos.

GARRIDO, Marino, 1988 Fazenda Dos Ingleses No Liotal Norte do Estado de São Paulo. Editora Danúbio. Santos.

G.I.O.C. (1999). "OLUCA-RD, Modelo integral de propagación de oleaje y corrientes en playas". Manual de referencia I, Universidad de Cantabria – Ministerio Medio Ambiente. Santander (España).

G.I.O.C. (2000). "OLUCA-SP, Modelo espectral de propagación de oleaje y corrientes en playas". Manual de referencia, Universidad de Cantabria – Ministerio de Medio Ambiente. Santander (España).

G.I.O.C. (2000). Documento de Referencia. Volumen I: Dinámicas. Universidad de Cantabria – Ministerio de Medio Ambiente. Santander (España).

G.I.O.C. (2000). Documento de Referencia. Volumen II: Procesos Litorales. Universidad de Cantabria – Ministerio de Medio Ambiente. Santander (España).

G.I.O.C. (2000). Documento de Referencia. Volumen III: Obras. Universidad de Cantabria – Ministerio de Medio Ambiente. Santander (España).

G.I.O.C. (2000). Documento de Referencia. Volumen 1: Medio Ambiente Litoral. Universidad de Cantabria – Ministerio de Medio Ambiente. Santander (España).

G.I.O.C. (2000). Documento de Referencia. Volumen V: Apéndices. Universidad de Cantabria – Ministerio de Medio Ambiente. Santander (España).

JONSSON, I. G. & SKOVGAARD, O. 1979. A mild slope equation and its application to tsunami calculations. Marine Geodesy 2, 41–58.

KAMPHUIS, J.W. 1991. Alongshore sediment transport rate. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 117, 624-640

KENNARD, R.W. & STONE, L.A., 1969. Computer aided design experiments. Technometrics, 11, 137-148.

KIRBY, J.T. (1986). "Higher-order Approximations in the Parabolic Equation Method for Water Waves," Journal of Geophysical Research, 91, C1, pp. 933-952.

KOK, Glória, 2012 - Uma Fazenda Inglesa no Universo Caiçara. Editora Neotrópica, São Paulo.

KOMAR, P.D. & INMAN, D.L. 1970. "Longshore sand transport on beaches," Journal of Geophysical Research, vol. 75, pp 5914 -5927.

LONGUET-HIGGINS, M. S. 1970. Longshore currents generated by obliquely incident sea waves, J. Geophysical Research, vol. 75, pp 6778-6790.

MATA, M. M. & GARCIA, C. A. E. 1996. Variabilidade da topografia oceânica superficial no Atlântico Sul Ocidental observada pela altimetria TOPEX/POSEIDON. Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Sensoramiento Remoto, 67.

MELLOR, G.L. & T. YAMADA, 1982. Development of a turbulence closure models for geophysical fluid problems. Rev. Geophys. Space Phys., 20, n. 4, p. 851-875.

MENEZES, N.A. 1996. Padrões de distribuição da Biodiversidade da Mata Atlântica do Sul e Sudeste Brasileiro: Peixes de Água Doce. Resultados do Workshop – Padrões de Biodiversidade da Mata Atlântica do Sudeste e Sul do Brasil. URL: http://www.bdt.org.br

MINERAL, 2016. Estudo de Usos Socioeconômicos das Áreas de Manguezal – Área de Proteção Ambiental Marinha do Litoral Norte (APAMLN) 2016. Em preparação.

PAES, Regina Silvia, 1998. Espaço da vida, Espaço Morte na Trajetória Caiçara. Dissertação de Mestrado, UNESP - Araraquara.

PETROBRAS, 2009. Programa de Ação Participativa para a Pesca Artesanal – Comunidade de Porto Novo. Município de Caraguatatuba – Relatório do DRP e Banco de Projetos.

PIANC., 1997. Approach channels, a guide for design, PIANC MarCom 30, Brussels, Belgium.

PUGH, D.T., 1996. Tides, Surges and Mean Sea-Level (reprinted with corrections), Chichester, UK. John Wiley & Sons Ltd, 486pp.

RADDER, A.C. 1979. “On the Parabolic Equation Method for Water-Wave Propagation”. Journal of Fluid Mechanics, Vol 95, part 1, pp. 159-176.

SABINO, J. 1996. Peixes de Riachos da Floresta Atlântica: Introdução à Ecologia e Conservação. Resultados do Workshop – Padrões de Biodiversidade da Mata Atlântica do Sudeste e Sul do Brasil. URL: http://www.bdt.org.br

SABINO, J. & Castro, R.M.C. 1990. Alimentação, Período de Atividade e Distribuição Espacial dos Peixes de um Riacho da Floresta Atlântica (Sudeste do Brasil). Rev. Brasl. Biol. 50(1):23-36.

SAZIMA, I.; Buck, S. & Sabino, J. 1994. Peixes de riacho. In. Intervales, Fundação para a Conservação e a Produção Florestal do Estado de São Paulo. Governo do Estado de São Paulo/Secretaria de Estado do Meio Ambiente. 240p

SCHUREMANN, P. 1958. Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides. Washington, D.C.,U.S. Coast & Geodetic Surv., S.P. n. 98, 317pp.

SHORE PROTECTION MANUAL, 1984. CERC, Waterways Experiment Station, Vicksburg, USA.

SOUZA, C.R. G. 1990. Considerações sobre os processos sedimentares quaternários e atuais na região de Caraguatatuba, litoral norte do Estado de São Paulo. Dissertação de mestrado. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. 334p.

SOUZA, C.R.G.; FURTADO, V.V. 1987. Exemplo de desenvolvimento de uma planície de maré na região da Enseada de Caraguatatuba. In: Simpósio sobre ecossistemas da costa sul e sudeste brasileira: Síntese dos conhecimentos. V.I; p. 337 – 352. Cananéia. Academia de Ciências do Estado de São Paulo.

SUGUIO, K.; MARTIN, L. 1978. Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense. In: International Symposium on Coastal in the Quaternary. São Paulo. International Union for Quaternary Research (INQUA). Special Publications, 1978. 55p.

TEISSEDRE, J.; LOPES, M.F.C.; SANCHES, J.L.; SILVA, W.F.1981. Contribuição da hidrologia ao conhecimento do litoral paulista. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB). Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE). P. 369 – 380.

WILLMOTT, C. J.1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bull. Am. Meteorol. Soc.. p. 1309-1313.

ANEXOS

Anexo 1 – Ficha de Campo das Coletas

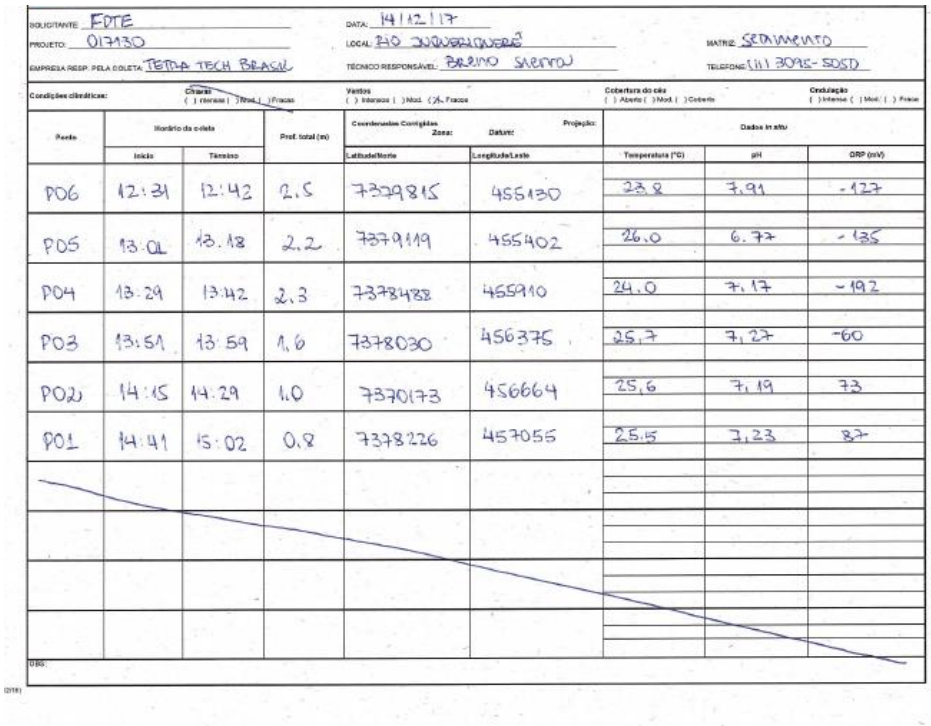
Anexo 2 – Cadeia de Custódia das Amostras

Anexo 3 – Laudos das Análises Químicas

Anexo 4 – Autorização para levantamento hidrográfico

Anexo 5 – RN8-DHN – Estação Maregráfica de Referência

Anexo 1 – Ficha de Campo das Coletas



SOLICITANTE: FDTE — DATA: 14/12/17
PROJETO: 017130 — LOCAL: RIO GUANDU-GUAÇU — MATRIZ: SEDIMENTO
EMPRESA RESP. PELA COLETA: TETRA TECH BRASIL — TÉCNICO RESPONSÁVEL: BRUNO SIMÕES — TELEFONE: (11) 3095-5050

Condições climáticas: Claras — Ventos: Fracos — Cobertura do céu: Aberto — Ondulação: Fraca

Ponto	Horário da coleta		Prof. total (m)	Coordenadas Corrigidas Zona: Datum: Projeção:		Dados in situ		
	Início	Término		Latitude/Norte	Longitude/Leste	Temperatura (°C)	pH	ORP (mV)
P06	12:31	12:42	2,5	7379815	455130	23,8	7,91	-127
P05	13:01	13:18	2,2	7379119	455402	26,0	6,77	-135
P04	13:29	13:42	2,3	7378488	455910	24,0	7,17	-192
P03	13:51	13:59	1,6	7378030	456375	25,7	7,27	-60
P02	14:15	14:29	1,0	7378173	456664	25,6	7,19	73
P01	14:41	15:02	0,8	7378226	457055	25,5	7,23	87

OBS:

Anexo 2 – Cadeia de Custódia das Amostras

Nome do Projeto:	S18001		Nº Projeto:	S18001	Proposta nº:	3501/2017	CONAMA 454
e-mail:				11 3095-5050			
Fatura contra:	Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia - FDTE		Resultados para:				
Uso Lab.	**Data da Entrada**	**Identificação da Amostra**	**Data da Coleta**	**Hora da Coleta**	**Matriz**	**Nº de Frascos**	
162590		PD6	14/12/2017	12:31	Sedimento	05	x
162591		PD5	14/12/2017	13:04	Sedimento	05	x
162592		PD4	14/12/2017	13:29	Sedimento	05	x
162593		PD3	14/12/2017	13:51	Sedimento	05	x
162594		PD2	14/12/2017	14:15	Sedimento	05	x
162595		PD1	14/12/2017	14:41	Sedimento	05	x

EUROFINS | ANATECH
LOG: 31586 Prop.: 3501/17
Prazo: ( ) RUSH (X) Normal 12 dias úteis
Entrada no laboratório (LIMS): 16/12/17
Previsão liberação relatório: 21/12/17

Condição de recebimento da amostra: REFRIGERADA (4°C ± 2°)
Condição de preservação no laboratório:
Coletor: Bruno Sotto
OBS:
Enviado por: [signature] Data e hora: 15/12/17 10:56
Recebido por: [signature] Data e hora: 15/12/17 10:56

eurofins | Anatech

Check List de Recebimento de Amostra Ambiental

ID-Doc | Versão: FOR-LG003/3
Página 1 de 1

CLIENTE: LOG: 31586

PROJETO: S18001

1. EMBALAGEM	
A caixa térmica ou embalagem das amostras está em condições normais para transporte?	☑Sim ☐Não ☐N/A
2. COC	
Acompanha cadeia de custódia ou ofício com análises solicitadas e dados da coleta?	☑Sim ☐Não ☐N/A
3. COLETA	
As amostras foram coletadas em frascos / recipientes e preservação adequados à análise correspondente?	☑Sim ☐Não ☐N/A
4. VIALS	
No caso de vials há presença de bolhas maiores que 6mm?	☐Sim ☐Não ☑N/A
5. RECIPIENTES	
Os frascos ou recipientes contendo as amostras estão íntegros?	☑Sim ☐Não ☐N/A
6. RÓTULOS	
Os rótulos dos frascos ou recipientes identificam as amostras e estão de acordo com a COC?	☑Sim ☐Não ☐N/A
7. PRAZO	
As amostras estão dentro do prazo que seja possível a realização das análises (holding time)?	☑Sim ☐Não ☐N/A
8. TEMPERATURA	
A temperatura interna dos coolers respeita o critério de aceitação 4 °C ± 2 °C? Temperatura (°C): 6°	☑Sim ☐Não ☐N/A
9. METAIS	
No caso de metais, identificar qual será analisado (totais e/ou dissolvidos) ☐MT ☐MD ☐N/A	Se metais dissolvidos, filtrados em campo? ☐Sim ☐Não
10. QUALIDADE DO AR	
Há excesso de umidade ou água aparente no interior dos tubos e/ou embalagens?	☐Sim ☐Não ☑N/A
Os amostradores estão corretamente vedados?	☐Sim ☐Não ☐N/A
As amostras foram coletadas em amostradores adequados às análises correspondentes?	☐Sim ☐Não ☐N/A

Observações

Unidade:	Conferido por:		Data: 15/12/17
	Cadastrado por:	Leonardo Dantas	Data: 16/12
	Etiquetado por:		Data: 19/12/17

Anexo 3 – Laudos das Análises Químicas

Anexo 4 – Autorização para levantamento hidrográfico

017130 (FDTE)

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA

AUTORIZAÇÃO Nº 369/17

CATEGORIA "B"

O Diretor do Centro de Hidrografia da Marinha, de acordo com as delegações de competência estabelecidas pelas Portarias nº 156/MB, de 3 de junho de 2004 e nº 39/DHN, de 23 de março de 2012, AUTORIZA a Tetra Tech Consultoria Ltda., inscrita sob o nº 249 no Cadastro de Entidades Executantes de Levantamentos Hidrográficos, em conformidade com o art. 37 do Decreto-Lei nº 243, de 28/02/1967, e nos termos das Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos - NORMAM-25/DHN (2ª Revisão), a realizar Levantamento Hidrográfico no rio Juqueriquerê entre a ponte da rodovia Dr. Manoel Hipolito do Rego e sua foz e na área costeira adjacente, município de Caraguatatuba, estado de São Paulo, no período de 22 de dezembro de 2017 a 01 de maio de 2018, conforme descrito no projeto de Levantamento Hidrográfico recebido por este Centro em 15 de dezembro de 2017.

Esta Autorização não isenta a entidade requerente de obter outras autorizações e/ou licenças federais, estaduais e municipais legalmente exigíveis para realização desta atividade, incluindo aquelas relacionadas à órgãos ambientais e à segurança da navegação, emanadas por Agentes ou Representantes da Autoridade Marítima, sendo obrigatória a sua disponibilização no local de realização do Levantamento Hidrográfico, para efeito de fiscalização.

Conforme o item 0203 da NORMAM-25/DHN (2ª Revisão), a coleta e/ou processamento dos dados deverão ser realizados exclusivamente pela Entidade Executante autorizada. A cessão dos dados a terceiros só deverá ser feita à Entidade Contratante do LH. Caso alguma discrepância seja observada, serão aplicadas as sanções cabíveis à Entidade Executante.

Niterói, 19 de dezembro de 2017.

Por ordem:

ALEXANDRE MATTOS DE CAÚLA E SILVA
Capitão de Corveta (T)
Encarregado da Seção de Controle

Anexo 4 – RN8-DHN – Descrição da Estação Maregráfica de referência

50210 — TÁBUAS DAS MARÉS — F-41 – Padrão – Porto de São Sebastião – 50210 – Versão 1/2017

F - 41 — DESCRIÇÃO DE ESTAÇÃO MAREGRÁFICA — F - 41 – 1644 – 001/99

Estação Porto de São Sebastião — Estado SP — Localidade São Sebastião

LH 007/99 — Carta Nº. 1644 - Canal de São Sebastião (Parte Sul) — Navio **Zenith** — Ano 1999

Coordenadas geográficas
Lat 23º 48,6' S
Long 045º 23,9' W
Datum WGS - 84

Fuso + 3

O nível de redução está 69,2 **centímetros acima do zero da régua de 2016.**

Fonte de informação: Análise Estatística e Harmônica de 31 dias de observação da Maré.

Tipo de marégrafo: Escala 1:20

Zero do marégrafo: Coincide com o zero da régua.

Descrição das réguas de marés

Régua de madeira com 4,00 metros de comprimento, estando localizada ao lado da escada de metal.

Descrição das referências de nível

RN2-DHN – Instalada junto à porta da Patromoria da Delegacia da Capitania dos Portos de São Sebastião.Implantada em 1999.
RN4-DHN – Localizada na base da escada que dá acesso à varanda principal da Associação dos Portos de São Sebastião.
RN5 - A RN foi instalada, pelo porto, nas proximidades do segundo cabeço, tendo como referência o prédio da Receita Federal.
RN6 - A RN foi instalada, pelo porto, no caís, nas proximidades da escada de metal.
RN7-DHN- A RN foi instalada nas proximidades do segundo cabeço, tendo como referência o prédio da Receita Federal.
RN8-DHN- A RN foi instalada nas proximidades do primeiro cabeço, tendo como referência o prédio da Receita Federal.
MT MC2- Marco da empresa Dersa, instalado próximo ao cabeço junto a receita federal.

DHN-6016-A

Arquivo Técnico a ser preenchida no CHM

Recebida em: LH-007/99 – LH-004 /05
LH-001/06 – RA-112/06
Documento de referência: LH-008/15 – RA-326/15

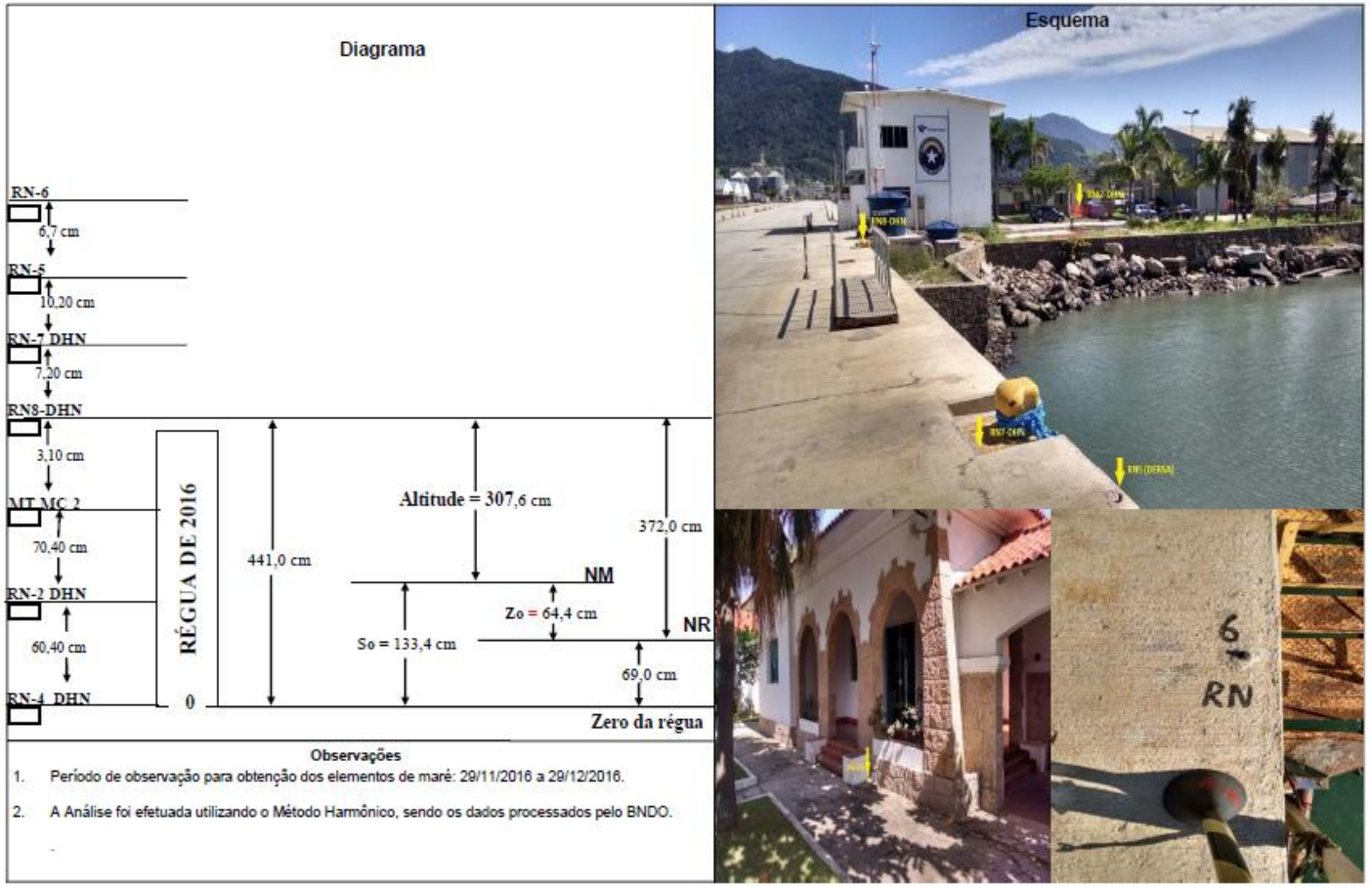
Pessoal que tomou parte na montagem

Equipe de 1999:
2ºSG HN Oliveira
CB- HN Guimarães – CB-HN Ramalho
CB-ML- CM Meriadetti – CB-HN Sérgio

Chefe da equipe: 1T Brayner

Equipe de 2016:
Tec: José Luiz Conde Paz
Aux: Rodrigo Conde Paz
Chefe da Equipe: Helder Luiz Puia

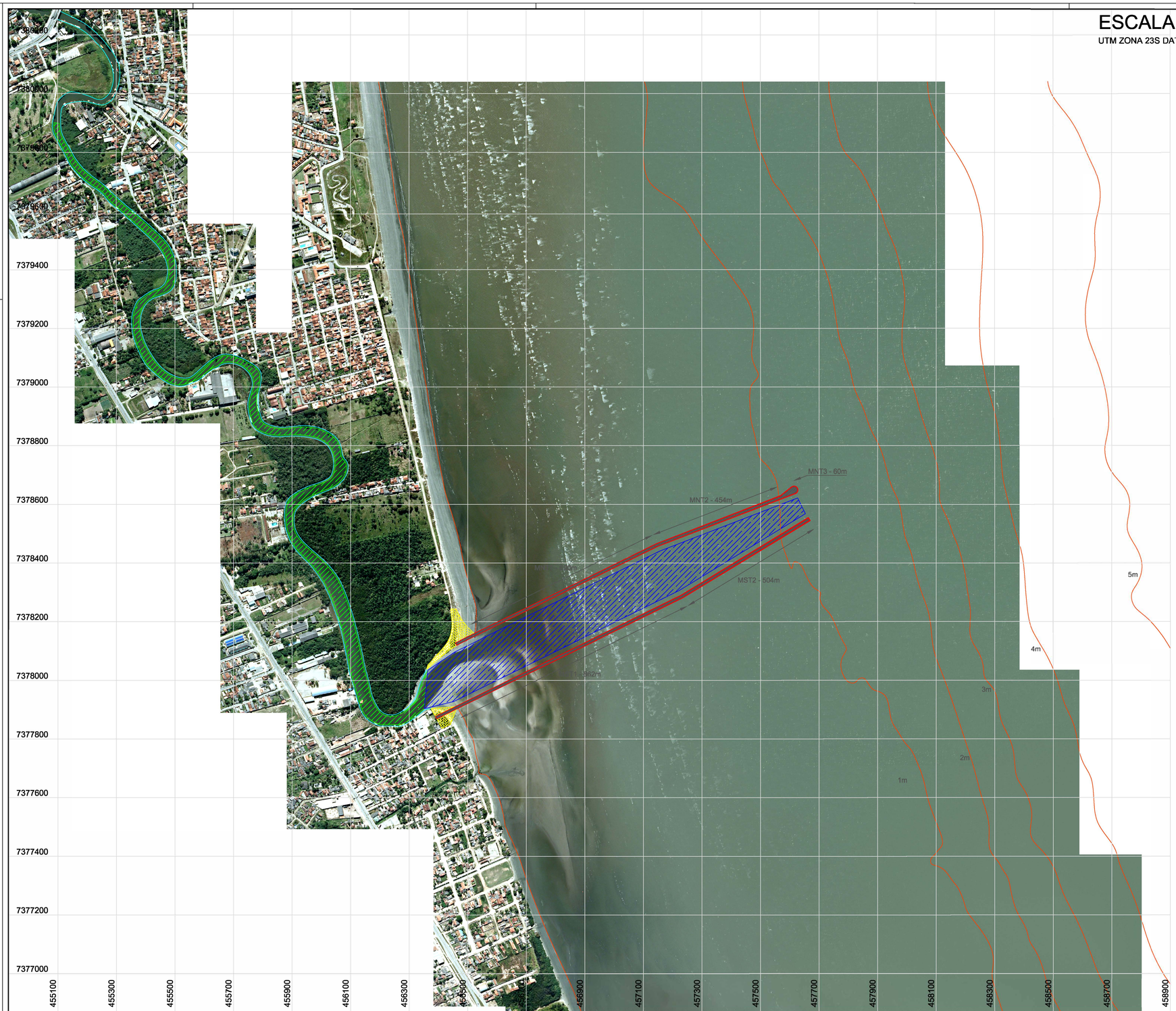
Anexo 4 – RN8-DHN – continuação...



FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO
TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA

Fundação para Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia
Av. Afrânio Peixoto, 412 - Butantã
São Paulo - SP - CEP: 05507-000
Fone: (55 11) 3132-4000

E-mail: s.monteiro@fdte.org.br / thalita.garcia@fdte.org.br
Site: www.fdte.org.br



Legenda:

- Trecho interno dos Molhes
- Trecho de desassoreamenro do Rio
- Projeção lateral dos Molhes
- Coroamento dos Molhes (porção emersa)
- Extremidade Molhes na Costa
- Curvas batimétricas
- Margem do rio

NOTAS: ESPAÇAMENTO DO GRID DE 200m;
IMAGEM BASE: ORTOFOTO IGC-SP LESTE 2010.

REVISÃO	DATA	NATUREZA	EXEC.	VERIF.	APROV.

PROJETO DE ENRONCAMENTO DA FOZ
DO RIO JUQUERIQUERÊ - LOCAÇÃO GERAL

TÍTULO: LOCAÇÃO GERAL

LOCAL: FOZ DO RIO JUQUERIQUERÊ

BAIRRO: PORTO NOVO

RESP. TÉCNICO	ATUAÇÃO	REGISTRO
RONALDO CHEBERLE	OCEANÓGRAFO	LF. 11.760/2008
MARCEL LUIZ GIORGETI SANTOS	ENGENHEIRO AMBIENTAL	CREA 5063809576

ART: 27109549

DESENHISTAS: RONALDO CHEBERLE
MATEUS FERREIRA VILA NOVA

PREFEITURA MUNICIPAL DE CARAGUATATUBA

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, AGRICULTURA E PESCA

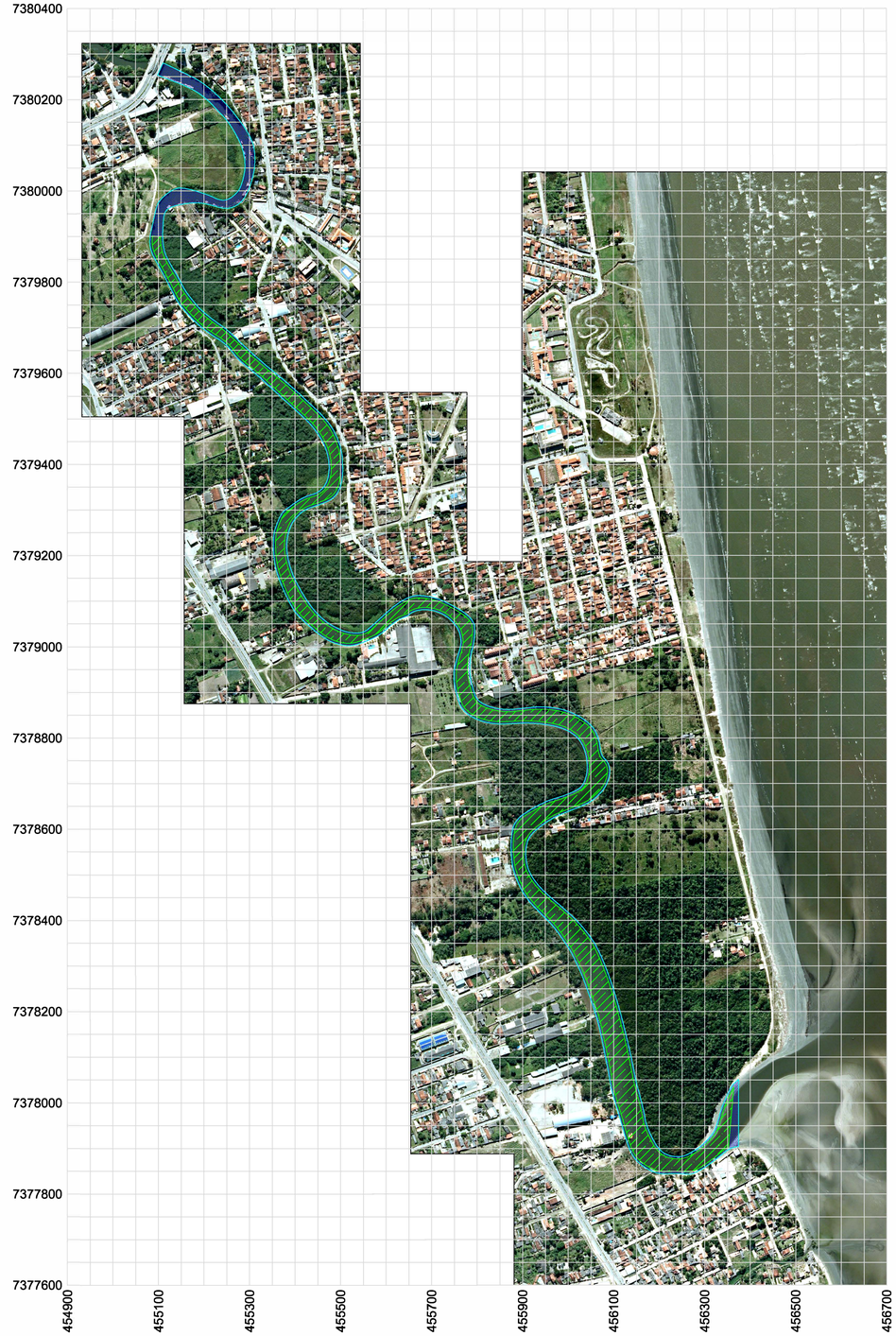
LICENCIAMENTO AMBIENTAL DO ENROCAMENTO DA FOZ DO RIO JUQUERIQUERÊ

DATA: JULHO DE 2020

FL 1/6

Ronaldo Cheberle
Oceanógrafo
Diretor de Meio Ambiente

Marcel Luiz Giorgeti Santos
Engenheiro Ambiental
Secretário de Meio Ambiente, Agricultura e Pesca



ESCALA: 1:4000

UTM ZONA 23S DATUM SIRGAS 2000

NOTAS: ESPAÇAMENTO DO GRID DE 50m;
IMAGEM BASE: ORTOFOTO IGC-SP LESTE 2010;
NA ÁREA ONDE NÃO HAVERÁ INTERVENÇÃO QUE MARGEIA O TRECHO DRAGAGEM, FOI CONSIDERADO UMA FAIXA DE 5 METROS A PARTIR DA MARGEM DO RIO.

REVISÃO	DATA	NATUREZA	EXEC.	VERIF.	APROV.

PROJETO DE ENRONCAMENTO DA FOZ
DO RIO JUQUERIQUERÊ - DESASSOREAMENTO DE MANUTENÇÃO
(TRECHO INTERNO - LICENCIAMENTO MUNICIPAL)

TÍTULO: DESASSOREAMENTO TRECHO RIO JUQUERIQUERE

LOCAL: FOZ DO RIO JUQUERIQUERÊ

BAIRRO: PORTO NOVO

RESP. TÉCNICO	ATUAÇÃO	REGISTRO
RONALDO CHEBERLE	OCEANÓGRAFO	LF. 11.760/2008
MARCEL LUIZ GIORGETI SANTOS	ENGENHEIRO AMBIENTAL	CREA 5063809576

ART: 27109549

DESENHISTAS: RONALDO CHEBERLE
MATEUS FERREIRA VILA NOVA

PREFEITURA MUNICIPAL DE CARAGUATATUBA

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, AGRICULTURA E PESCA

LICENCIAMENTO AMBIENTAL DO ENROCAMENTO DA FOZ DO RIO JUQUERIQUERÊ

DATA: JULHO DE 2020

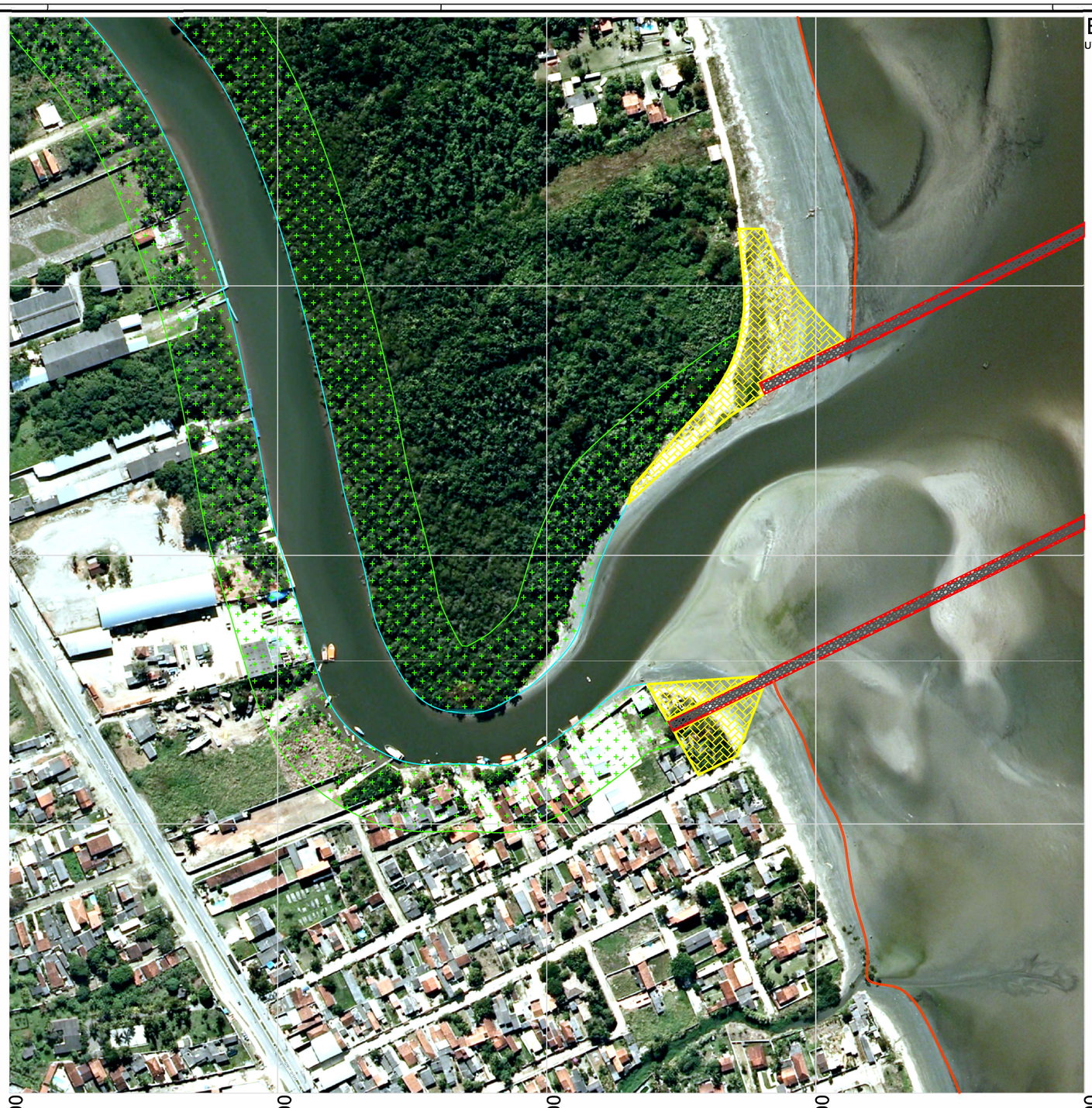
FL 2/6

Legenda:

- Área onde não ocorrerá desassoreamento
- Trecho onde será executada desassoreamento de manutenção
- Margem do rio

Ronaldo Cheberle
Oceanógrafo
Diretor de Meio Ambiente

Marcel Luiz Giorgeti Santos
Engenheiro Ambiental
Secretário de Meio Ambiente, Agricultura e Pesca



ESCALA: 1:2500

UTM ZONA 23S DATUM SIRGAS 2000

NOTAS: ESPAÇAMENTO DO GRID DE 200m;
ORTOFOTO IGC-SP LESTE 2010;
APP 50m - LF 12651/2012, ART 4°, INCISO I, ALÍNEA *b*.

REVISÃO	DATA	NATUREZA	EXEC.	VERIF.	APROV.

PROJETO DE ENRONCAMENTO DA FOZ
DO RIO JUQUERIQUERÊ - DETALHE MOLHES EXTREMIDADE
SOBRE LINHA DE COSTA (RAIZ MOLHES)

TÍTULO: DETALHES "RAIZES" MOLHES NORTE E SUL

LOCAL: FOZ DO RIO JUQUERIQUERÊ

BAIRRO: PORTO NOVO

RESP. TÉCNICO	ATUAÇÃO	REGISTRO
RONALDO CHEBERLE	OCEANÓGRAFO	LF. 11.760/2008
MARCEL LUIZ GIORGETI SANTOS	ENGENHEIRO AMBIENTAL	CREA 5063809576

ART: 27109549

DESENHISTAS: RONALDO CHEBERLE
MATEUS FERREIRA VILA NOVA

PREFEITURA MUNICIPAL DE CARAGUATATUBA

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, AGRICULTURA E PESCA

LICENCIAMENTO AMBIENTAL DO ENROCAMENTO DA FOZ DO RIO JUQUERIQUERÊ

DATA: JULH0 DE 2020 | FL 3/6

Legenda:

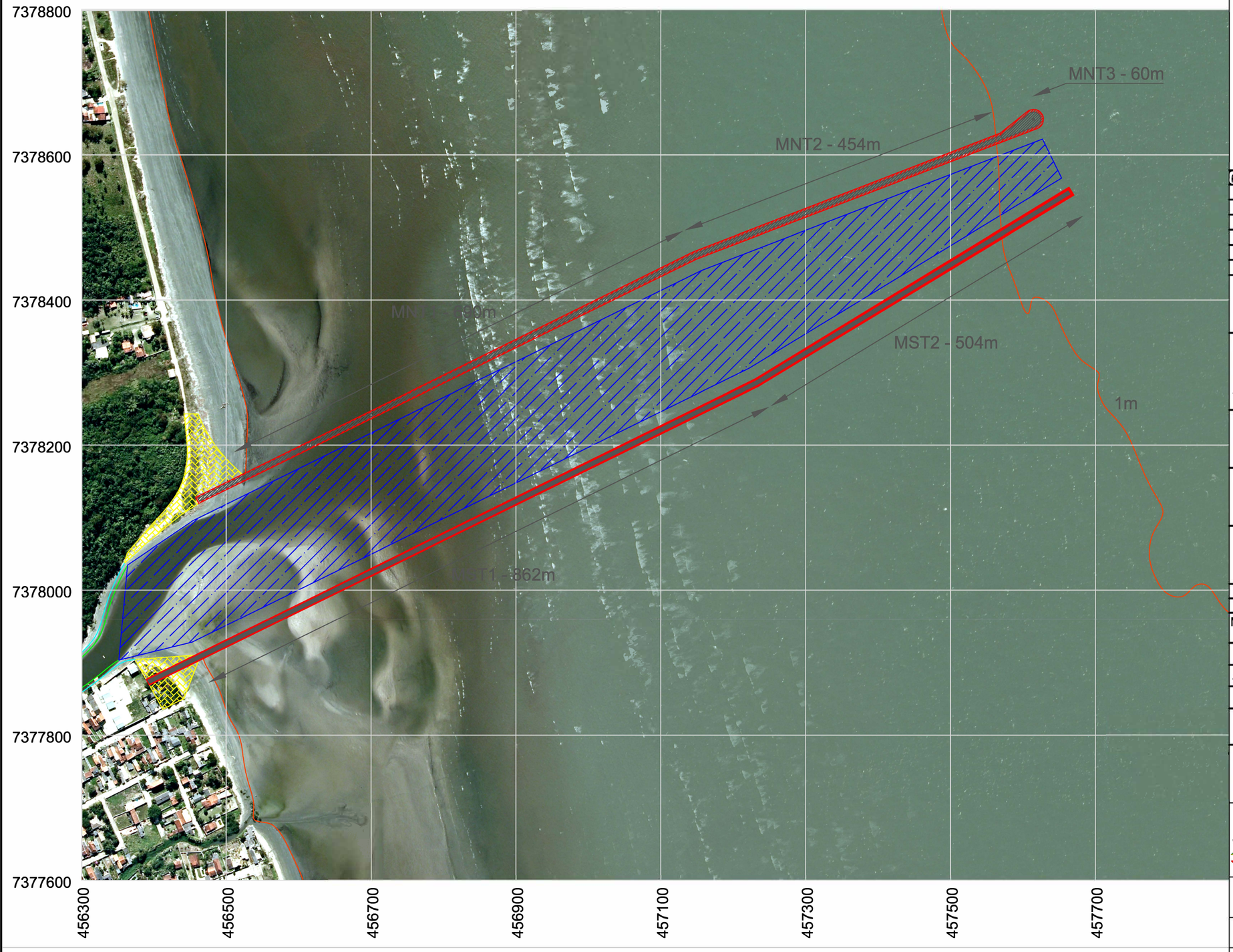
- Raiz dos Molhes
- Projeção Lateral dos Molhes
- Coroamento dos Molhes (porção emersa)
- Área de Preservação Permanente (APP) 50m
- Margem do rio
- Zero hidrográfico

Ronaldo Cheberle
Oceanógrafo
Diretor de Meio Ambiente

Marcel Luiz Giorgeti Santos
Engenheiro Ambiental
Secretário de Meio Ambiente, Agricultura e Pesca

ESCALA: 1:2500

UTM ZONA 23S DATUM SIRGAS 2000



NOTAS: ESPAÇAMENTO DO GRID DE 200m;
IMAGEM BASE: ORTOFOTO IGC-SP LESTE 2010.

REVISÃO	DATA	NATUREZA	EXEC.	VERIF.	APROV.

PROJETO DE ENRONCAMENTO DA FOZ
DO RIO JUQUERIQUERÊ - DETALHE MOLHES

TÍTULO: DETALHAMENTO MOLHES

LOCAL: FOZ DO RIO JUQUERIQUERÊ

BAIRRO: PORTO NOVO

RESP. TÉCNICO	ATUAÇÃO	REGISTRO
RONALDO CHEBERLE	OCEANÓGRAFO	LF. 11.760/2008
MARCEL LUIZ GIORGETI SANTOS	ENGENHEIRO AMBIENTAL	CREA 5063809576

ART: 27109549

DESENHISTAS: RONALDO CHEBERLE
MATEUS FERREIRA VILA NOVA

PREFEITURA MUNICIPAL DE CARAGUATATUBA

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, AGRICULTURA E PESCA

LICENCIAMENTO AMBIENTAL DO ENROCAMENTO DA FOZ DO RIO JUQUERIQUERÊ

DATA: JULHO DE 2020 | FL 4/6

Legenda:

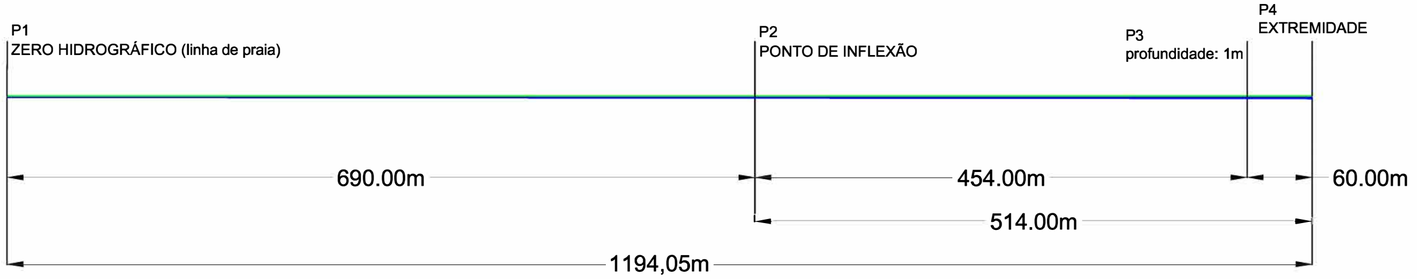
- Raiz dos Molhes
- Projeção Lateral dos Molhes
- Coroamento dos Molhes
- Margem do rio
- Curvas batimétricas

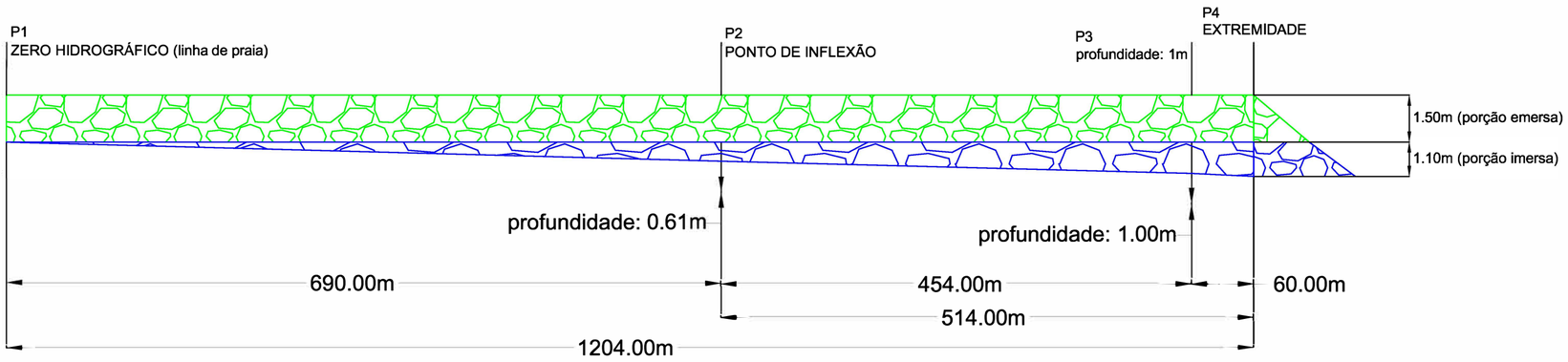
Ronaldo Cheberle
Oceanógrafo
Diretor de Meio Ambiente

Marcel Luiz Giorgeti Santos
Engenheiro Ambiental
Secretário de Meio Ambiente, Agricultura e Pesca

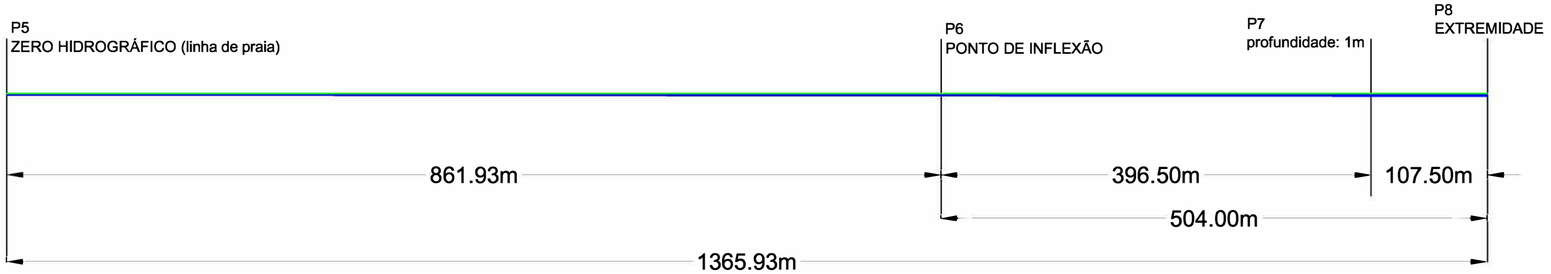
MOLHE NORTE

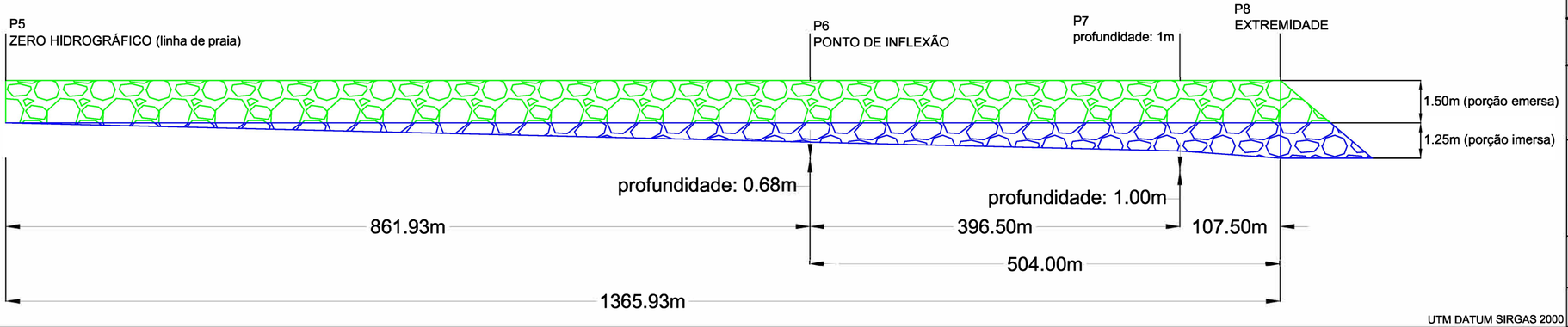
ESCALA: 1:4000
UTM ZONA 23S DATUM SIRGAS 2000





MOLHE SUL





UTM DATUM SIRGAS 2000

MOLHE NORTE		
PONTO	COORDENADA	PROFUNDIDADE
1	N: 7378154.5 E: 456528.4	0.00m
2	N: 7378466.1 E: 457144.5	0.61m
3	N: 7378630.0 E: 457568.4	1.00m
4	N: 7378648.0 E: 457625.8	1.10m

MOLHE SUL		
PONTO	COORDENADA	PROFUNDIDADE
5	N: 7377908.2 E: 456457.9	0.00m
6	N: 7378288.2 E: 457231.5	0.68m
7	N: 7378494.1 E: 457570.4	1.00m
8	N: 7378549.9 E: 457662.3	1.25m

NOTAS: OS DETALHAMENTOS DOS MOLHES NORTE E SUL ESTÃO COM EXAGERO VERTICAL DE 30m PARA MELHOR VISUALIZAÇÃO.

REVISÃO	DATA	NATUREZA	EXEC.	VERIF.	APROV.

PROJETO DE ENRONCAMENTO DA FOZ
DO RIO JUQUERIQUERÊ - DETALHE PERFIS LONGITUDINAIS

TÍTULO: PERFIS LONGITUDINAIS

LOCAL: FOZ DO RIO JUQUERIQUERÊ

BAIRRO: PORTO NOVO

RESP. TÉCNICO	ATUAÇÃO	REGISTRO
RONALDO CHEBERLE	OCEANÓGRAFO	LF. 11.760/2008
MARCEL LUIZ GIORGETI SANTOS	ENGENHEIRO AMBIENTAL	CREA 5063809576

ART: 27109549

DESENHISTAS: RONALDO CHEBERLE
MATEUS FERREIRA VILA NOVA

PREFEITURA MUNICIPAL DE CARAGUATATUBA

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, AGRICULTURA E PESCA

LICENCIAMENTO AMBIENTAL DO ENROCAMENTO DA FOZ DO RIO JUQUERIQUERÊ

DATA: JULHO DE 2020 | FL 5/6

Ronaldo Cheberle
Oceanógrafo
Diretor de Meio Ambiente

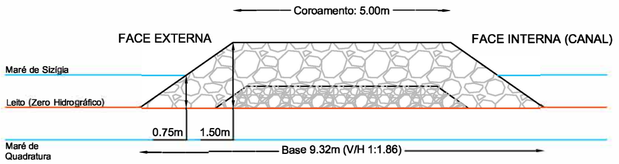
Marcel Luiz Giorgeti Santos
Engenheiro Ambiental
Secretário de Meio Ambiente, Agricultura e Pesca

ESCALA: 1:4000

UTM ZONA 23S DATUM SIRGAS 2000

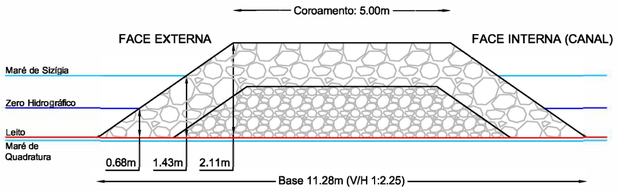
MOLHE SUL SEÇÃO RAIZ (ZERO HIDROGRÁFICO) - UTM N: 7377908.2 E: 456457.9

SEÇÃO 5 - P5 DISTÂNCIA DA LINHA DE PRAIA: 0,00m



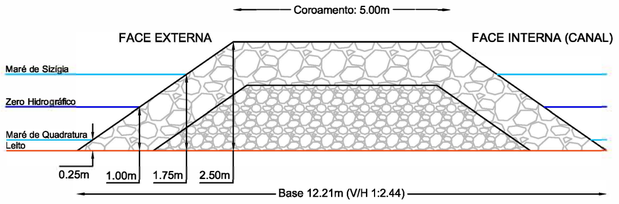
MOLHE SUL SEÇÃO INFLEXÃO - UTM N: 7378288.2 E: 457231.5

SEÇÃO 6 - P6 DISTÂNCIA DA LINHA DE PRAIA: 861,93m



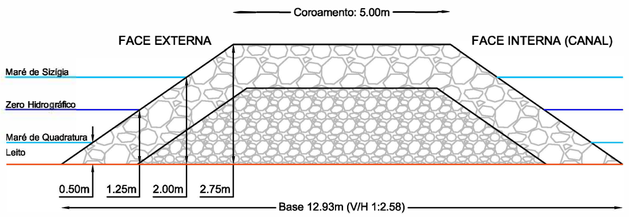
MOLHE SUL SEÇÃO COTA BATIMÉTRICA 1m - UTM N: 7378494.1 E: 457570.4

SEÇÃO 7 - P7 DISTÂNCIA DA LINHA DE PRAIA: 1258,43m



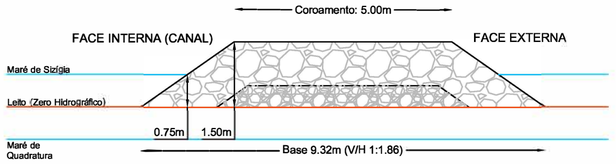
MOLHE SUL SEÇÃO EXTREMIDADE - UTM N: 7378549.9 E: 457662.3

SEÇÃO 8 - P8 DISTÂNCIA DA LINHA DE PRAIA: 1365,93m



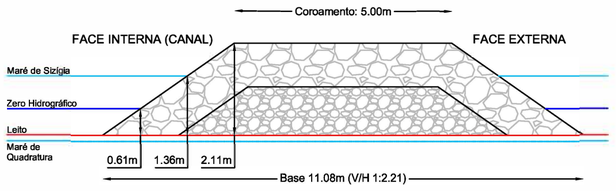
MOLHE NORTE SEÇÃO RAIZ (ZERO HIDROGRÁFICO) - UTM N: 7378154.5 E: 456528.4

SEÇÃO 1 - P1 DISTÂNCIA DA LINHA DE PRAIA: 0,00m



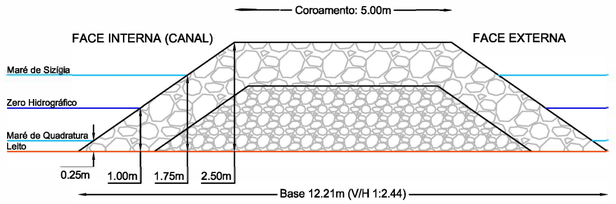
MOLHE NORTE SEÇÃO INFLEXÃO - UTM N: 7378466.1 E: 457144.5

SEÇÃO 2 - P2 DISTÂNCIA DA LINHA DE PRAIA: 690,00m



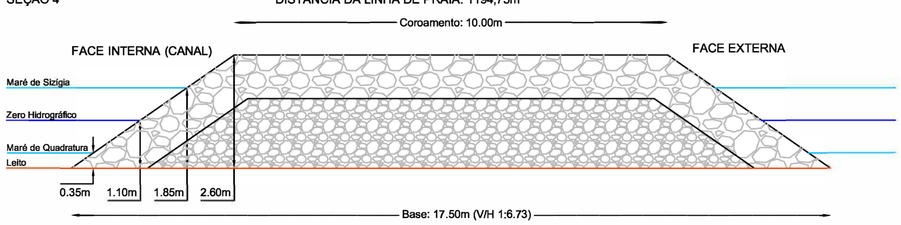
MOLHE NORTE SEÇÃO COTA BATIMÉTRICA 1m - UTM N: 7378630.0 E: 457568.4

SEÇÃO 3 - P3 DISTÂNCIA DA LINHA DE PRAIA: 1144,00m



MOLHE NORTE SEÇÃO EXTREMIDADE - UTM N: 7378649.1 E: 457614.6

SEÇÃO 4 DISTÂNCIA DA LINHA DE PRAIA: 1194,75m



UTM DATUM SIRGAS 2000

MOLHE SUL		
SEÇÃO	COORDENADA	ÁREA (m²)
5	N: 7377908.2 E: 456457.9	10,7452
6	N: 7378288.2 E: 457231.5	17,7544
7	N: 7378494.1 E: 457570.4	21,5144
8	N: 7378549.9 E: 457662.3	24,6575

MOLHE NORTE		
SEÇÃO	COORDENADA	ÁREA (m²)
1	N: 7378154.5 E: 456528.4	10,7452
2	N: 7378458.8 E: 457147.8	16,9713
3	N: 7378618.5 E: 457563.1	21,5144
4	N: 7378639.7 E: 457618.2	22,7500

NOTAS:

REVISÃO	DATA	NATUREZA	EXEC.	VERIF.	APROV.

PROJETO DE ENRONCAMENTO DA FOZ
DO RIO JUQUERIQUERÊ - DETALHE PERFIS TRANSVERSAIS

TÍTULO: SESSÕES TRANSVERSAIS MOLHES NORTE E SUL

LOCAL: FOZ DO RIO JUQUERIQUERÊ

BAIRRO: PORTO NOVO

RESP. TÉCNICO	ATUAÇÃO	REGISTRO
RONALDO CHEBERLE	OCEANÓGRAFO	LF. 11.760/2008
MARCEL LUIZ GIORGETI SANTOS	ENGENHEIRO AMBIENTAL	CREA 5063809576

ART: 27109549

DESENHISTAS: RONALDO CHEBERLE
MATEUS FERREIRA VILA NOVA

PREFEITURA MUNICIPAL DE CARAGUATATUBA

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, AGRICULTURA E PESCA

LICENCIAMENTO AMBIENTAL DO ENROCAMENTO DA FOZ DO RIO JUQUERIQUERÊ

DATA: JULHO DE 2020 | FL 6/6

Ronaldo Cheberle
Oceanógrafo
Diretor de Meio Ambiente

Marcel Luiz Giorgeti Santos
Engenheiro Ambiental
Secretário de Meio Ambiente, Agricultura e Pesca

PROCESSO: **CETESB.055766/2018-80**

INTERESSADOS: **Prefeitura Municipal da Estância Balneária de Caraguatatuba/Agência Ambiental de São Sebastião**

ASSUNTO: **Processo de consulta prévia sobre licenciamento ambiental**

MUNICÍPIO: **Caraguatatuba**

1. INTRODUÇÃO

Este Parecer Técnico visa atender à solicitação da Prefeitura Municipal da Estância Balneária de Caraguatatuba para a análise e manifestação dos documentos intitulados: "Estudos da hidrodinâmica e transporte de sedimentos na barra do rio Juqueriquerê, elaborado pela Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia; "Carta de Apresentação – Resumo" (21/05/2019, 3 págs.); "Carta de Apresentação – Resumo" ((Revisão 1) 30/05/2019 (2 págs)) e "Projeto de Revitalização do Rio Juqueriquerê – Análise Ictiofauna" (16/07/2019, 5 págs.) que subsidiam a consulta prévia com vistas ao licenciamento ambiental referente à construção de dois molhes partindo a barra do rio Juqueriquerê na região Sul do Município de Caraguatatuba com cerca de 1270 metros de extensão e 1,5 metros de profundidade, além da dragagem periódica dos anais interno e externo.

A justificativa da referida solicitação reside no fato de haver um processo intenso de assoreamento que vem ocorrendo naquele curso d'água nos últimos anos, além de comprometer a capacidade de escoamento das águas, agravando ainda mais a susceptibilidade para ocorrências de eventos de enchentes e alagamentos, comprometendo inclusive de maneira significativa o desenvolvimento de seu potencial econômico.

Considerando o irreversível processo de urbanização ocorrido na bacia do Rio Juqueriquerê, que tende a se intensificar em função do novo Zoneamento Ecológico Econômico do Litoral Norte, aliado ao insucesso da última dragagem de desassoreamento em relação à solução efetiva das questões relativas ao escoamento das águas e as condições de navegação, o interessado reconhece que a adequação física da desembocadura do rio é a única medida com efetivo potencial de solucionar de maneira consistente os problemas decorrentes do seu assoreamento.

2. DOCUMENTAÇÃO APRESENTADA

O relatório final (outubro de 2018, 263 p. e Anexos) aborda os aspectos de diagnóstico relacionados à caracterização da região, tais como: a enseada de Caraguatatuba, circulação atmosférica, clima, sua dinâmica sedimentar, a evolução temporal da foz do rio, os componentes biológicos da região, a qualidade da água e do sedimento, perfil praial, granulometria, análises físico-químicas, levantamentos batimétricos e dados oceanográficos.

Quanto aos aspectos de prognóstico, foram estudadas as implementações e validações dos modelos hidrodinâmico e de transporte de sedimentos. Finalmente, foram apresentadas a sugestão e análise de alternativas de geometrias de enrocamentos. Desse modo, a análise

O original deste documento é eletrônico e foi assinado digitalmente por JOSE EDUARDO BEVILACQUA .
Para verificar a autenticidade desta cópia impressa, acesse o site https://e.ambiente.sp.gov.br/atendimento e informe o processo CETESB.055766/2018-80 e o código DE3Z3T89.

desse parecer levará em conta a dragagem rio Juqueriquerê e os estudos que subsidiaram a proposta da estabilização da sua foz por meio de estrutura de enrocamento.

As cartas da Prefeitura Municipal de Caraguatatuba trazem informações complementares referentes à localização dos molhes propostos, a estimativa do material a ser dragado e a área proposta de destinação do material dragado. O documento intitulado “Projeto de Revitalização do rio Juqueriquerê”, também em carater complementar ao referido relatório, traz informações complementares referentes ao desassoreamento e dragagem, eventuais impactos decorrentes da dragagem, metodologia de dragagem, considerações sobre o material dragado, impactos à ictiofauna e medidas mitigadoras.

2.1 Atividades de campo

Os trabalhos de campo que deram suporte ao estudo estão descritos a seguir:

- ✓ A primeira campanha ocorreu entre 11 e 14 de dezembro de 2017 e envolveu levantamentos topográficos de 18 (dezoito) perfis de praia, além de coletas de 36 (trinta e seis) amostras de sedimento (duas amostras por perfil) para a realização de análise granulométrica. Além disso, foram realizadas amostragens de sedimento em 6 (seis) pontos ao longo do canal navegável do Rio Juqueriquerê, para atender ao estabelecido na Resolução CONAMA 454/12.
- ✓ A segunda campanha foi realizada entre os dias 18 e 24 de janeiro de 2018 e envolveu o levantamento batimétrico ao longo do setor terminal do curso fluvial do Rio Juqueriquerê entre sua foz e a ponte da Rodovia Manoel Hypólito Rego, além da área contígua à sua desembocadura. Foi realizado, ainda, fundeio com um perfilador acústico de correntes para o levantamento de medições direcionais de ondas, além de medidas de temperatura e pressão.
- ✓ A terceira e última campanha foi realizada entre os dias 13 e 15 de junho de 2018 e contemplou a instalação de um perfilador acústico para obter dados de marés, ondas e correntes no período de inverno, além de levantamentos batimétricos complementares, entre a foz do rio e a parte marinha.

O original deste documento é eletrônico e foi assinado digitalmente por JOSE EDUARDO BEVILACQUA .
Para verificar a autenticidade desta cópia impressa, acesse o site https://e.ambiente.sp.gov.br/atendimento e informe o processo CETESB.055766/2018-80 e o código DE3Z3T89.

FIGURA 1. Área onde foram realizados os perfis batimétricos e demais levantamentos de campo (extraída do relatório em análise, página 09).

2.2 Estudo de perfil de praia

Foram obtidas as cotas e as distâncias em 18 perfis no entorno da foz do rio Juqueriquerê com o propósito de servir como dado de entrada no modelo de transporte de sedimentos na avaliação final de resultados, bem como servir como um parâmetro de monitoramento após a realização das obras.

O levantamento de perfil de praia cobriu as duas margens da barra do rio, compreendendo 9 (nove) seções a cada lado, na área da atual desembocadura, cobrindo uma extensão aproximada de 4 km de costa.

2.3 Caracterização do material a ser dragado

Foram selecionados 6 (seis) pontos amostrais localizados no trecho navegável do rio Juqueriquerê. As coordenadas geográficas estão apresentadas na Tabela 1 (UTM-SIRGAS 2000).

Ponto	N (m)	L (m)
P01	7378264	456931
P02	7378173	456664
P03	7378030	456375

O original deste documento é eletrônico e foi assinado digitalmente por JOSE EDUARDO BEVILACQUA .
Para verificar a autenticidade desta cópia impressa, acesse o site https://e.ambiente.sp.gov.br/atendimento e informe o processo CETESB.055766/2018-80 e o código DE3Z3T89.

P04	7378488	455910
P05	7379119	455402
P06	7379815	455130

Com relação às determinações analíticas, essas seguiram aos procedimentos estabelecidos na Resolução SMA 100/13.

2.3.1 Análise granulométrica

Os resultados encontrados atribuíram ao sedimento do rio Juqueriquerê a classificação arenosa e, para o ponto P05 a classificação franco-arenosa. Ainda com relação à composição, os pontos P04 e, principalmente o ponto P05, são os que apresentaram as maiores contribuições de finos.

2.3.2 Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio Kjeldahl Total (NKT) e Fósforo Total (PT).

Os resultados de COT, NKT e PT estiveram abaixo do Nível 1 da Resolução CONAMA 454/12. Os valores mais elevados foram encontrados no ponto P05, que é o local que apresenta os níveis mais elevados de finos (item 2.3.1).

2.3.3 Metais e Arsênio

As concentrações de metais e arsênio estiveram abaixo do Nível 1 da Resolução CONAMA 454/12. Assim como discutido nos itens 2.3.1 e 2.3.2, o ponto P05 também foi aquele que apresentou as maiores concentrações de metais, tais como: chumbo, cobre, cromo e zinco.

2.3.4 Compostos orgânicos

Todos os compostos orgânicos estiveram abaixo do Nível 1 da Resolução CONAMA 454/12, inclusive abaixo do Limite de Quantificação das metodologias adotadas.

2.3.5 Programa de monitoramento da ictiofauna

O documento intitulado “Projeto de Revitalização do Rio Juqueriquerê – Análise Ictiofauna” (16/07/2019, 5 págs.) menciona que será implementado prévia e concomitantemente às atividades de dragagem e de execução das obras de construção dos molhes, incluindo localização e georreferenciamernto dos pontos de monitoramento, metodologia de coleta, cronograma de realização de campanhas de amostragens com periodicidade quadrimestral durante toda a implementação do empreendimento.

2.3.6 Programa de monitoramento de qualidade das águas (IQA)

Assim como apontado no item 2.3.5, esse programa também será implantado durante a execução das obras de construção dos molhes, contemplando os parâmetros que compõem o IQA tais como pH, temperatura, OD, condutividade e turbidez. A periodicidade proposta será quinzenal. Menciona atender aos critérios estabelecidos na Resolução SMA 100/13.

2.4 Plano Conceitual de Dragagem

Considerando a Resolução CONAMA 454/12, de 01/11/2012, que estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional, é importante que a documentação seja analisada à luz das

O original deste documento é eletrônico e foi assinado digitalmente por JOSE EDUARDO BEVILACQUA .
Para verificar a autenticidade desta cópia impressa, acesse o site https://e.ambiente.sp.gov.br/atendimento e informe o processo CETESB.055766/2018-80 e o código DE3Z3T89.

exigências constantes desta Resolução, notadamente o disposto em seu Artigo 3^0, que propõe o estabelecimento de um Plano Conceitual de Dragagem, o qual deverá conter o conjunto de dados e informações destacadas nos itens 3.1 a 3.6, analisados a seguir.

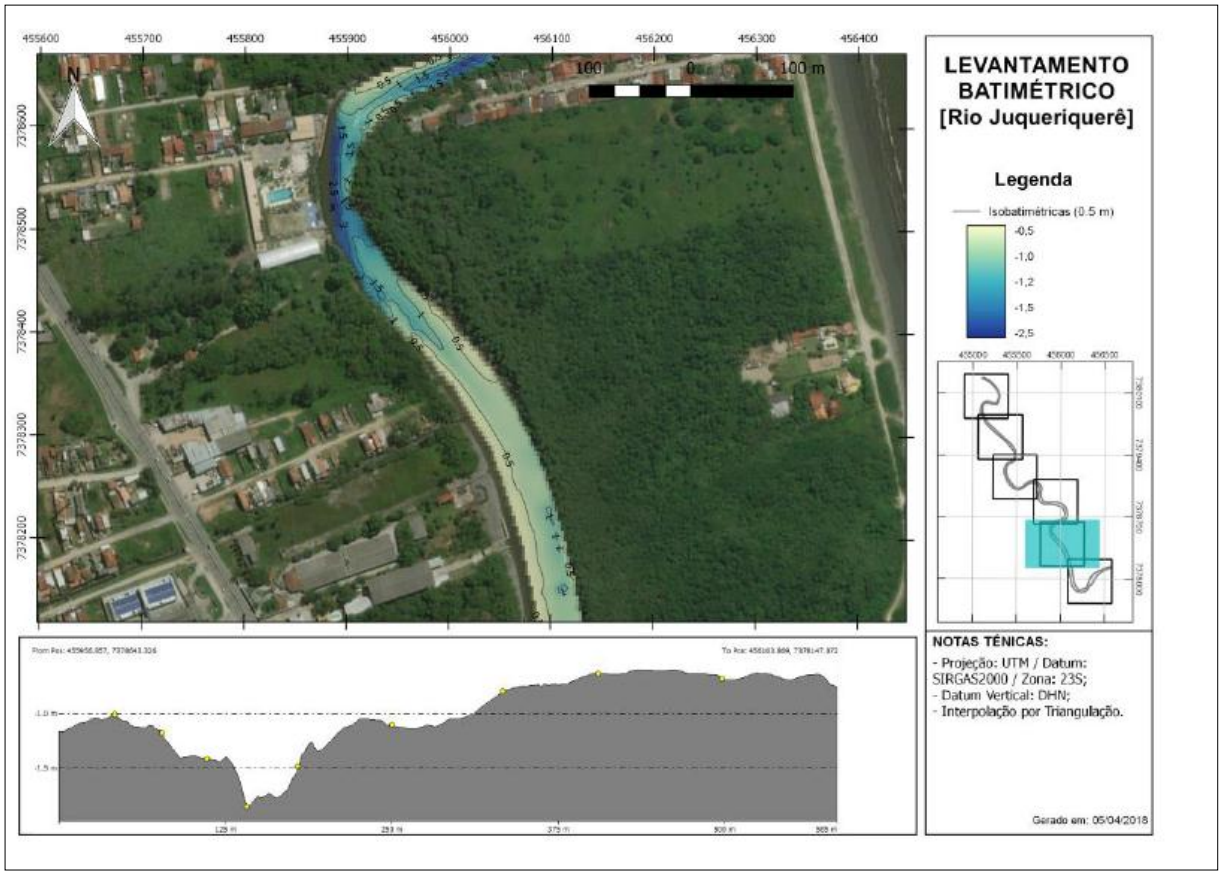
2.4.1 Análise dos Levantamentos batimétricos das áreas a serem dragadas

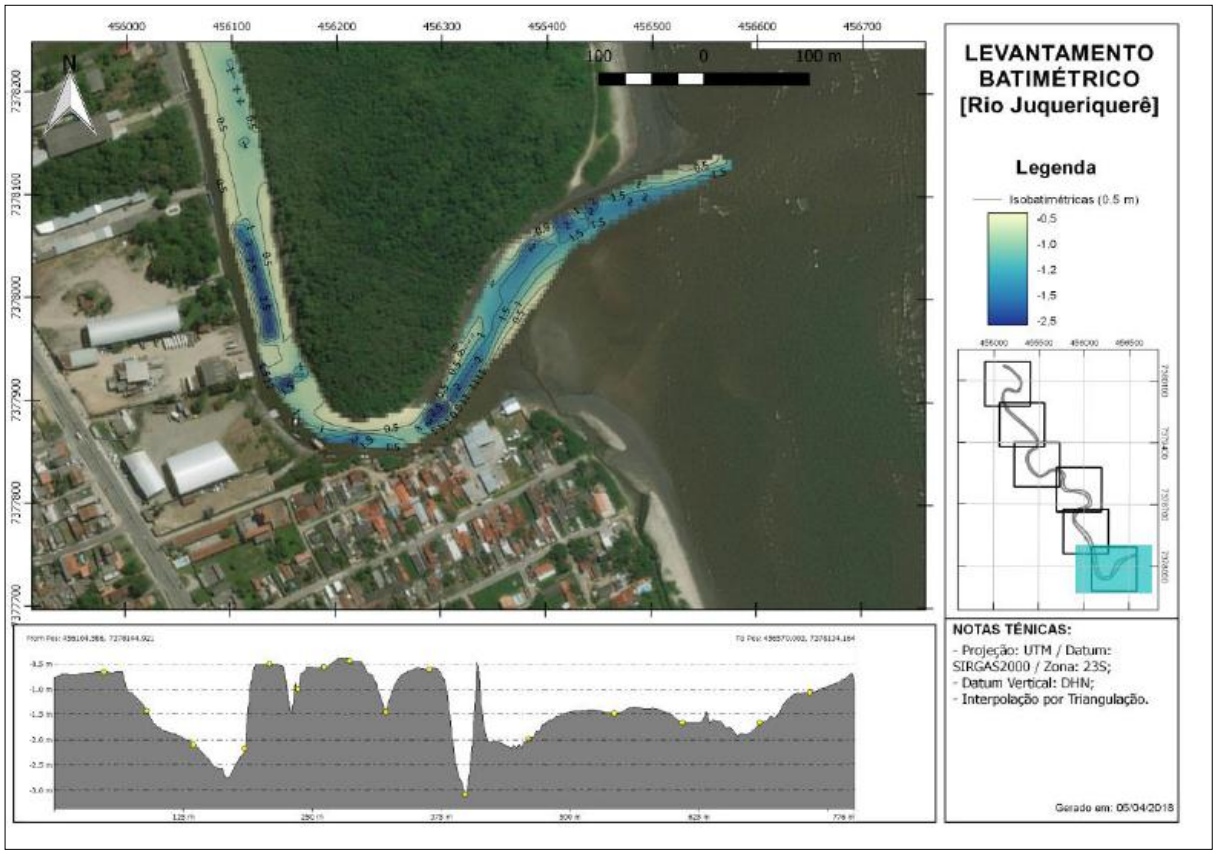
Conforme anteriormente destacado, as seções batimétricas foram estabelecidas segundo as campanhas realizadas entre os dias 18 e 24 de janeiro de 2018 e envolveu o levantamento batimétrico ao longo do setor terminal do curso fluvial do Rio Juqueriquerê entre sua foz e a ponte da Rodovia Manoel Hypólito Rego, além da área contígua à sua desembocadura. No total, foram aproximadamente 22 km lineares de aquisição de dados no referido trecho do rio.

Para as seções batimétricas no rio, as linhas de navegação foram estabelecidas com espaçamento de 10 m entre as regulares e 200 m entre as transversais. No caso das seções batimétricas na porção marinha, foram estabelecidas linhas regulares espaçadas em 100 m e linhas de verificação a cada 500 m. Os levantamentos batimétricos foram realizados por meio de uma embarcação de pequeno porte equipada com ecobatímetro *Hidrobox Syqwest* de dupla frequência (33/200 KHz) e sistema de posicionamento diferencial (DGPS) *Novatel Smart* V1 com correção satelital Omnistar1, que oferece precisão horizontal submétrica.

Os resultados dos levantamentos batimétricos do rio Juqueriquerê foram apresentados em perfil (figuras 3.6 c a 3.6 h). Diante dos dados apresentados, pode-se constatar o nível de assoreamento significativo que se encontra esse corpo d'água, notadamente nos trechos identificados nas figuras 5 e 6. O detalhamento da foz do rio Juqueriquerê também exibe a ocorrência de assoreamento, com registros de profundidades entre 0,5m e 1,0 m.

O original deste documento é eletrônico e foi assinado digitalmente por JOSE EDUARDO BEVILACQUA .
Para verificar a autenticidade desta cópia impressa, acesse o site https://e.ambiente.sp.gov.br/atendimento e informe o processo CETESB.055766/2018-80 e o código DE3Z3T89.





Figuras 2 e 3: Trechos das seções batimétricas realizadas no rio Juqueriquerê e representação em perfil. (extraídas do documento em análise, páginas 101 e 102).

O original deste documento é eletrônico e foi assinado digitalmente por JOSE EDUARDO BEVILACQUA .
Para verificar a autenticidade desta cópia impressa, acesse o site https://e.ambiente.sp.gov.br/atendimento e informe o processo CETESB.055766/2018-80 e o código DE3Z3T89.

O detalhamento dos levantamentos batimétricos, notadamente na foz do rio Juqueriquerê, indicaram haver pequenas variações nas profundidades do canal, de modo que os dados para fins de projeto de dragagem deverão levar em conta tal detalhamento. A figura 4 traz os novos valores das profundidades encontradas em 14/06/2018.

2.4.2 Apresentação das cotas pretendidas e cotas de eventual projeto anterior

Nas cartas de apresentação, é afirmado que a profundidade a ser atingida, tanto no rio Juqueriquerê quanto no denominado canal externo é de -1,5 m (DHN).

2.4.3 Delimitação da área a ser dragada com coordenadas georreferenciadas

As áreas de dragagem estão representadas no estudo pelos levantamentos batimétricos das figuras 3.6 c a 3.6 h (págs. 97 a 103) com as coordenadas georreferenciadas. Na carta de 21/05/2019 encaminhada pela Prefeitura Municipal de Caraguatatuba é apontado que o trecho de dragagem no rio Juqueriquerê perfaz uma distância de 3385,36 m e o trecho de dragagem entre os molhes perfaz um total de 1331,08 m.

2.4.4 Volume a ser dragado

O estudo informa (página 81) que a estimativa de volume a ser dragado é de 100 mil metros cúbicos. No entanto, nas cartas de apresentação da Prefeitura Municipal de Caraguatatuba e no documento "Projeto de Revitalização do rio Juqueriquerê – Análise Ictiofauna (16/07/2019, 5 p.), o volume a ser dragado (estimativa) é de 240 mil metros cúbicos, sendo 25.000 m^3 no canal interno do rio e 215 mil metros cúbicos no canal externo, entre os molhes, sendo posteriormente realizada a dragagem de manutenção a cada 5 anos.

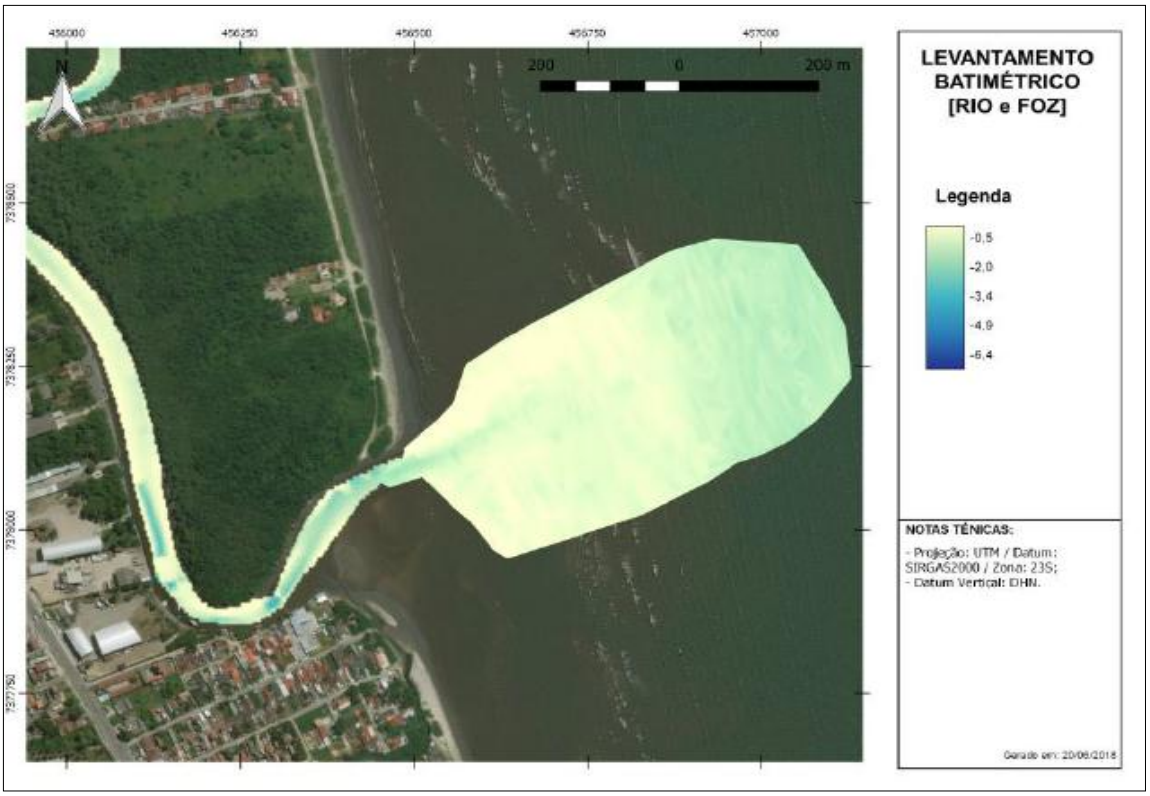


Figura 4: Detalhamento das seções batimétricas da foz do rio Juqueriquerê (campanha de 14/06/2018 - Extraída do documento em análise, página 106).

O original deste documento é eletrônico e foi assinado digitalmente por JOSE EDUARDO BEVILACQUA .
Para verificar a autenticidade desta cópia impressa, acesse o site https://e.ambiente.sp.gov.br/atendimento e informe o processo CETESB.055766/2018-80 e o código DE3Z3T89.

2.4.5 Delimitação das áreas de disposição propostas, com suas coordenadas georreferenciadas

A carta datada de 30/05/2019, em sua figura 2, apresenta o local de disposição de material dragado, em uma área de 410 mil metros quadrados. A justificativa desse local reside no fato de estar havendo erosão na praia e, desse modo, o material dragado pode estabilizar o processo erosivo.

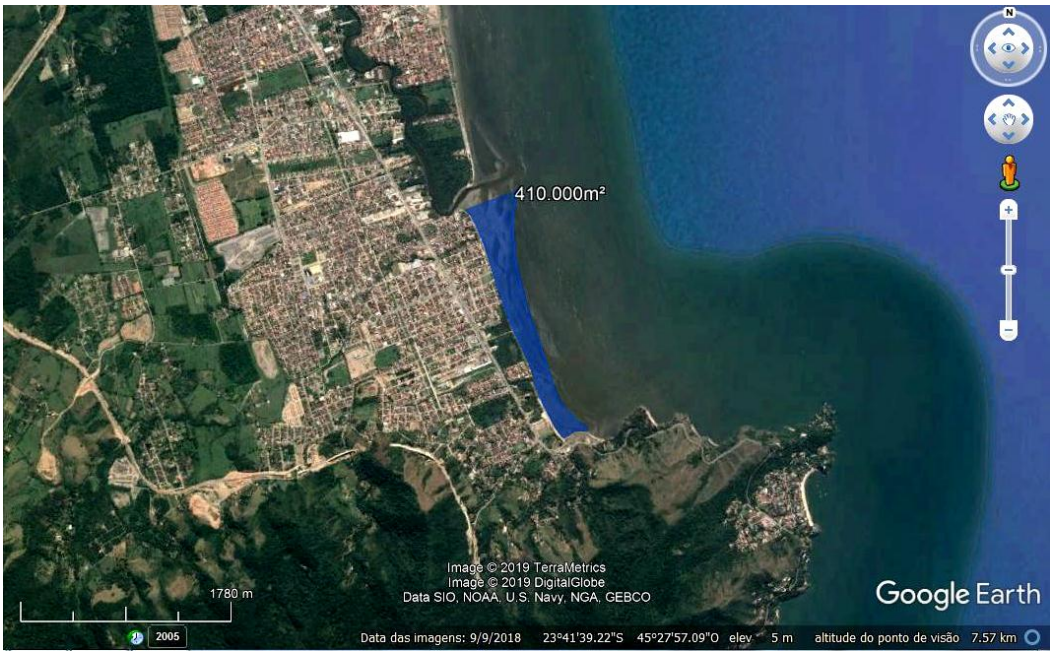


Figura 5: Área de disposição do material a ser dragado (extraída de Carta de Apresentação, figura 2, página 2).

2.4.6 Cronograma de execução

Não foram apresentadas as informações referentes ao cronograma de execução das obras de dragagem.

2.4.7 Características dos equipamentos de dragagem

Não foram apresentadas as características dos equipamentos de dragagem. Há somente a menção no documento “Projeto de Revitalização do rio Juqueriquerê – Análise Ictiofauna (16/07/2019, 5 p.), de que pretende-se adotar a metodologia de dragagem hidráulica via sucção e recalque (18 polegadas na sucção e 16 polegadas no recalque), alegando minimizar os impactos ambientais dessa operação, especialmente para a ictiofauna.

O original deste documento é eletrônico e foi assinado digitalmente por JOSE EDUARDO BEVILACQUA .
Para verificar a autenticidade desta cópia impressa, acesse o site https://e.ambiente.sp.gov.br/atendimento e informe o processo CETESB.055766/2018-80 e o código DE3Z3T89.

2.5 Levantamento de dados oceanográficos e modelagem numérica

Cabe esclarecer que neste parecer técnico não serão analisados tecnicamente os dados meteo-oceanográficos e nem tampouco os detalhes da modelagem numérica adotada.

Os modelos numéricos utilizados necessitam de validação em condição oceânica real. Nesse sentido, foram levantados dados oceanográficos primários por meio de medições de ondas, correntes e regimes de marés. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi o de determinar dos padrões de ondas, correntes e regimes de marés típicos da área de estudo. Uma vez estabelecidos, servirão para validar os campos os campos implementados na elaboração da modelagem das ondas, circulação e transporte de sedimentos que será conduzido.

O fundeio do perfilador acústico de correntes (ADCP) foi realizado na zona costeira situada ao lardo da foz do rio Juqueriquerê, próximo à isóbata de 5,00 metros.

Com relação à modelagem numérica (ondas, correntes e transporte de sedimentos) esta foi adotada para a compreensão do padrão de circulação local e, desse modo, dar á caracterização hidrodinâmica costeira da região de estudo e como subsídio básico no delineamento das obras de engenharia de revitalização e estabilização da foz do rio Juqueriquerê.

Destaca-se que os estudos de modelagem hidrodinâmica associada à modelagem de ondas para a avaliação dos padrões hidrodinâmicos e de erosão e deposição na região foram constituídos das seguintes etapas:

a) Implantação do modelo em uma região englobando a área de interesse. Tal processo levou em conta todas as informações ambientais disponíveis para a geração dos campos iniciais e das forçantes oceanográficas adotadas nas simulações numéricas;
b) Avaliação dos resultados da modelagem hidrodinâmica por meio de comparações com dados oceanográficos disponíveis;
c) Execução dos modelos (hidrodinâmico + ondas + transporte de sedimentos) para as condições ambientais atuais e duas configurações futuras de *layout* de possíveis enrocamentos da foz do rio Juqueriquerê.

Diante da especificidade dos resultados a serem adotados na análise, o interessado adotou dois modelos: DELFT3D e Sistema de Modelado Costeiro. As modelagens foram conduzidas para o período de verão e inverno, contemplando um ciclo natural completo.

Em decorrência dos estudos de modelagem numérica adotada foram propostas alternativas de enrocamento para a estabilidade da foz do rio Juqueriquerê, a partir de desenhos conceituais, por sua vez avaliados a partir dos seus impactos apresentados na modelagem numérica.

As alternativas previstas foram avaliadas, segundo o interessado, sob o ponto de vista ambiental, apresentando, sempre que possível, soluções para eliminar e/ou minimizar os eventuais impactos detectados.

O original deste documento é eletrônico e foi assinado digitalmente por JOSE EDUARDO BEVILACQUA .
Para verificar a autenticidade desta cópia impressa, acesse o site https://e.ambiente.sp.gov.br/atendimento e informe o processo CETESB.055766/2018-80 e o código DE3Z3T89.

Com relação à modelagem de transporte de sedimentos, a interpretação foi de que apesar do predomínio do transporte sedimentar ocorrer no sentido sul ao longo de toda a enseada, pontualmente também são observados momentos de transportes no sentido oposto, gerando pequenas alterações momentâneas no padrão das feições de linha de costa em setores contíguos.

Segundo as ponderações do estudo, essa observação é particularmente significativa para o segmento a sul da foz do rio, que alimentado pelas areias provenientes dos setores a nordeste, de forma não continuadas, e sedimentos finos exportados pelo rio, geram a formação de bancos longitudinais.

Tais bancos, paralelos à linha de costa, segundo o estudo, não se ligam diretamente à praia emersa, criando condições locais, de ondas e correntes, para que pequenos setores apresentem transportes em sentidos opostos, em curtos períodos.

Dessa forma, o estudo pressupõe que o estabelecimento de um canal de navegação permanente interligando a zona marinha ao canal fluvial implica, necessariamente, na interrupção do aporte arenoso proveniente dos setores a nordeste da enseada, ou do estabelecimento de procedimentos contínuos de atividades de dragagem.

Deduz-se, ainda, que após a interrupção do fluxo sedimentar ao longo da linha de costa junto à foz do rio, a transferência sedimentar do material sólido (areia) de nordeste para sudeste/sudoeste, não mais ocorrerá episodicamente, nos períodos de perda da função de molhe hidráulico do rio Juqueriquerê. Nestas fases a transferência direta do material (areia) de um setor da foz, para o setor oposto será interrompida. Tal transferência só irá ocorrer novamente quando o setor a nordeste da foz do rio – onde se estabelecerá uma acumulação arenosa pelo transporte litorâneo das areias provenientes das porções a nordeste da enseada - tiver atingido seu volume crítico de acumulação.

O estudo conclui que somente quando tais condições de acumulação estiverem estabelecidas será possível uma transferência das areias entre os segmentos a nordeste e sudeste/sudoeste da desembocadura fluvial.

Assim, os setores a Sul só receberiam sedimentos da praia submersa frontal a este setor e do pouco significativo aporte de areias provenientes do canal fluvial.

O estudo aponta que esta perda temporária de aporte arenoso implicará que as fases de reposição arenosa compensatória aos períodos de remoção sedimentar destes setores a sul (erosão) sofrerá uma alteração temporal, com o estabelecimento de um lapso de tempo para que se verifique seu restabelecimento.

Desta forma, a prevalência de processos erosivos, ainda que de pequena expressão espacial, poderá afetar a face externa deste setor, ocupada por edificações que avançam sobre a praia, e na ocupação urbana assentada sobre o antigo manguezal atualmente assoreado.

Considerando que o transporte será interrompido a jusante do enrocamento, no caso, a sul da barra do rio Juqueriquerê, e considerando ainda a necessidade de destinação do sedimento

O original deste documento é eletrônico e foi assinado digitalmente por JOSE EDUARDO BEVILACQUA .
Para verificar a autenticidade desta cópia impressa, acesse o site https://e.ambiente.sp.gov.br/atendimento e informe o processo CETESB.055766/2018-80 e o código DE3Z3T89.

dragado no rio e canal para que seja atingida a cota projetada, haverá excedente de material, para reposição, podendo, inclusive haver planejamento para aproveitamento das frações de maior granulometria, já que estas apresentam maior estabilidade em ambientes de baixa energia por exigir hidrodinâmica maior para seu retrabalhamento.

Os resultados dos perfis de praia indica que a região localizada ao sul da foz do rio (perfis 5 a 7) apresenta desequilíbrio sedimentar com um volume menor de areia na face emersa do perfil (processos erosivos), enquanto que na região norte da foz do rio, os segmentos da face emersa da praia apresentam acresção de sedimentos (perfis 10 a 14). Portanto, os setores praiais a sudeste/sudoeste da foz apresentam características de perfis em desequilíbrio de perda sedimentar (erosão). Nos setores a nordeste, a tendência de acresção dos perfis (deposição) é indicativo seguro da existência de um aporte arenoso constante no tempo proveniente dos setores praiais a nordeste da foz.

Segundo o estudo, a partir do estabelecimento de estrutura de fixação da foz do rio, os setores a sudeste/sudoeste deverão sofrer aporte menos significativo das areias provenientes da enseada a nordeste. Estas novas condições oceanográficas, e a diminuição do aporte sedimentar irão proporcionar novos ajustes no perfil do equilíbrio dinâmico da praia neste setor. Assim, um setor que originalmente apresentava a formação temporária de bancos arenosos paralelos à costa, com o posterior deslocamento destes bancos em direção à linha de praia (que supria a face praial emersa erodida com sedimentos) necessitará do estabelecimento de uma compensação sedimentar. Esta compensação será de pequena expressão volumétrica, no sentido de suprir de sedimentos este setor, até que as condições dinâmicas possam reestabelecer a interligação arenosa entre os dois setores que margeiam a foz do rio Juqueriquerê.

2.6 Proposta de enrocamentos (ou molhes) para proteção do canal de acesso

A modelagem numérica possibilitou, dentre outras questões, entender melhor o padrão de transporte na enseada de Caraguatatuba e na foz do rio Casqueiro. Uma vez conhecido esse padrão, segundo o estudo, foi mais eficiente a proposição de alternativas de engenharia costeira para a estabilização da foz do rio Juqueriquerê, bem como estudar as possíveis implicações dessas intervenções nos padrões hidrodinâmicos e de transporte sedimentar.

No estudo, o *design* da estabilização da foz do rio Juqueriquerê leva em conta alguns requisitos:

- ✓ A menor quantidade de energia de ondas possível penetra no canal de acesso ao rio;
- ✓ A perturbação de ondas dentro do canal deve ser mínima para reduzir riscos;
- ✓ Que cause o menor impacto nas áreas adjacentes da linha de costa;
- ✓ A área de aproximação, de entrada e interiores, sejam navegáveis.

Foram elencadas 4 (quatro) alternativas de projeto de estabilização da foz. Destas, a que se destacou considerando os quesitos que formaram a matriz de comparação (Tabela 3.8.13.g pág. 238) a alternativa vencedora foi a C.

Esta alternativa apresenta uma extensão de molhes retilíneos, perpendiculares à linha de costa, porém com um afunilamento do canal em seu acesso (do continente ao mar, 190

O original deste documento é eletrônico e foi assinado digitalmente por JOSE EDUARDO BEVILACQUA .
Para verificar a autenticidade desta cópia impressa, acesse o site https://e.ambiente.sp.gov.br/atendimento e informe o processo CETESB.055766/2018-80 e o código DE3Z3T89.

metros por 763 metros e, no restante da extensão no trecho final de 504 metros, de 110 m a 100 m,). Ressalte-se que os molhes apresentam o mesmo comprimento (sul e norte), e alcançam até a profundidade de 1,5 m (com 1275 metros de extensão e 1361 metros de extensão do canal).

Característica	Peso	Alternativa			
		A	B	C	D
Custo	3	1	2	1	2
Extensão máxima do quebra-mar (m)	2	3	3	3	2
Extensão do canal (m)	1	4	4	4	5
Possibilidade de expansão	1	3	3	3	2
Preservação da praia	2	5	5	5	5
Altura de onda média na entrada do canal	3	2	1	3	5
Facilidade de navegação (ângulo de entrada)	1	5	5	5	1
Segurança dos banhistas quanto a navegação	2	5	3	5	3
Pontuação Total		47	43	50	49

Tabela: Matriz multicritério de comparação das alternativas dos molhes de estabilização da foz do rio Juqueriquerê (extraído do documento, página 238).

Figura 5: Alternativa C para a estabilização da foz do rio Juqueriquerê. (extraída do relatório, página 232).

O original deste documento é eletrônico e foi assinado digitalmente por JOSE EDUARDO BEVILACQUA .
Para verificar a autenticidade desta cópia impressa, acesse o site https://e.ambiente.sp.gov.br/atendimento e informe o processo CETESB.055766/2018-80 e o código DE3Z3T89.

3. CONCLUSÃO

A análise da referida documentação possibilita considerar que:

a) O estudo de modelagem numérica, de fato, proporcionou obter uma compreensão significativa do padrão de transporte na enseada de Caraguatatuba e na foz do rio Casqueiro. Uma vez conhecido esse padrão, segundo o estudo, a proposição de alternativas de engenharia costeira para a estabilização da foz do rio Juqueriquerê ganha robustez, de modo que é possível compreender e estudar as possíveis implicações dessas intervenções nos padrões hidrodinâmicos e de transporte sedimentar;

b) Quanto ao subsequente estudo do *design* da estabilização da foz do rio Juqueriquerê, os requisitos de escolha adotados, tais como:
   - ✓ Menor quantidade de energia de ondas possível penetra no canal de acesso ao rio;
   - ✓ Perturbação de ondas dentro do canal deve ser mínima para reduzir riscos;
   - ✓ Que cause o menor impacto nas áreas adjacentes da linha de costa e
   - ✓ A área de aproximação, de entrada e interiores, sejam navegáveis foram importantes para embasar a matriz multicritério de comparação das alternativas dos molhes de estabilização da foz do rio Juqueriquerê;

c) A matriz multicritério, por sua vez, dentre todos os critérios adotados, destacou a fundamental conclusão ambiental que todas as propostas estudadas dão garantia da preservação da praia;

d) A matriz multicritério também apontou a alternativa C como sendo a mais adequada para a estabilização da foz do rio Juqueriquerê;

e) O plano conceitual de dragagem atende aos requisitos estabelecidos na Resolução CONAMA 454/2012 para a realização da atividade de dragagem no trecho de interesse. Para sua implementação, o interessado deverá apresentar o cronograma de execução contemplando:
   - ✓ os prazos de mobilização e desmobilização dos equipamentos de dragagem;
   - ✓ o sistema de dragagem adotado, inclusive detalhando a atividade disposição do material dragado na zona de praia e os correspondentes controles ambientais a serem implementados;
   - ✓ a ordem de execução da atividade de dragagem e respectiva ordem de destinação do material dragado;
   - ✓ os levantamentos batimétricos finais, quando da conclusão da atividade;
   - ✓ os relatórios consolidados das atividades de dragagem e destinação do material dragado.

f) Com relação aos monitoramentos a serem implementados, entende-se que antes da emissão da licença de instalação, devam ser implementados os seguintes programas:
   - ✓ monitoramento da qualidade da água
   - ✓ monitoramento da ictiofauna;
   - ✓ monitoramento das comunidades aquáticas;

O original deste documento é eletrônico e foi assinado digitalmente por JOSE EDUARDO BEVILACQUA .
Para verificar a autenticidade desta cópia impressa, acesse o site https://e.ambiente.sp.gov.br/atendimento e informe o processo CETESB.055766/2018-80 e o código DE3Z3T89.

- ✓ monitoramento da variação da linha de costa da praia envolvendo seu perfil e caracterização da morfologia e estabilidade futura da praia

4. REFERÊNCIAS

BRASIL, 2012. Resolução CONAMA nº 454/12 "Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional" - Data da legislação: 01/11/2012 – Publicação: **Diário Oficial da União em 08/11/2012**.

José Eduardo Bevilacqua
Diretoria de Avaliação de Impacto Ambiental
Assistente Executivo
Reg 01-7031-9

O original deste documento é eletrônico e foi assinado digitalmente por JOSE EDUARDO BEVILACQUA .
Para verificar a autenticidade desta cópia impressa, acesse o site https://e.ambiente.sp.gov.br/atendimento e informe o processo CETESB.055766/2018-80 e o código DE3Z3T89.

PROCESSO: IMPACTO 26/2019 (CETESB.055766/2018-80 e-ambiente)
INTERESSADO: Prefeitura Municipal da Estância Balneária de Caraguatatuba
ASSUNTO: Projeto de Revitalização do rio Juqueriquerê
MUNICÍPIO: Caraguatatuba

1. INTRODUÇÃO

Trata-se da manifestação da equipe técnica do Departamento de Avaliação Ambiental de Empreendimentos - IE em resposta à Consulta Prévia sobre a necessidade de Licenciamento Ambiental para a implantação do Projeto de Revitalização do rio Juqueriquerê, localizado no município de Caraguatatuba.

O presente Parecer Técnico foi elaborado com base nos documentos e informações constantes no Processo IMPACTO 26/2019 (CETESB 055766/2018-80 e-ambiente), com destaque para o Parecer Técnico n° 069/19/I, de 07/10/19, relativo à análise e manifestação sobre os estudos da hidrodinâmica, transporte de sedimentos e projeto de revitalização do rio Juqueriquerê.

2. JUSTIFICATIVA DO EMPREENDIMENTO

De acordo com as informações apresentadas, a bacia hidrográfica do rio Juqueriquerê, apresenta alta susceptibilidade para ocorrência de enchentes e alagamentos, devido a características naturais intrínsecas à área, relacionadas à intensa dinâmica fluvial e combinação entre alta capacidade de transporte de sedimentos e da transição fluvial e costeira.

Além da tendência natural relatada, os eventos de cheia vêm sofrendo significativo agravamento em função do intenso processo de assoreamento sofrido pelo rio Juqueriquerê, especialmente no trecho compreendido entre a Rodovia Dr. Manoel Hipólito do Rego e a foz.

Tal situação traz prejuízos às atividades pesqueiras e náuticas, além de prejudicar a população residente nos bairros existentes ao longo do rio.

Nesse sentido foi proposto o projeto de revitalização do rio Juqueriquerê, que visa solucionar os problemas decorrentes do processo de assoreamento no curso d'água, por meio da estabilização do canal principal do rio, beneficiando a função de escoamento das águas e melhorando as condições de navegação.

3. CARACTERÍSTICAS DO EMPREENDIMENTO

O projeto proposto consiste na construção de dois molhes paralelos, com extensão de aproximadamente 1.270 m e 1.430 m e 1,5 m de profundidade, projetados para garantir a estabilização da foz do rio Juqueriquerê. As estruturas serão feitas por enrocamento e serão ancorados em ambas as margens da foz fluvial.

O projeto prevê ainda dragagem periódica para manutenção de cerca de 3,38 km do canal do rio Juqueriquerê e de 1,33 km no canal interno entre os molhes. A figura 1 abaixo apresenta a localização das obras pretendidas e as dimensões projetadas.

O original deste documento é eletrônico e foi assinado digitalmente por FERNANDA DE CAMARGO FRANCESQUINI e FERNANDA AMARAL DANTAS SOBRAL e VANESSA HERMIDA FIDALGO GUERREIRO .
Para verificar a autenticidade desta cópia impressa, acesse o site https://e.ambiente.sp.gov.br/atendimento e informe o processo CETESB.055766/2018-80 e o código B47PJ3W0.

Figura 1: Localização sobre imagem aérea das estruturas propostas no Projeto de Revitalização do rio Juqueriquerê.

Atualmente, a margem sul do canal do rio é ladeada por muros e estruturas diversas de proteção, rampas de barcos de marinas, estruturas urbanas e pequenos canais que interligam o canal principal a uma drenagem desenvolvida sobre a planície costeira à retaguarda. Já no lado norte do canal do rio, nas proximidades de sua foz, encontra-se um ambiente de mangue preservado, sem a presença de estruturas antrópicas.

Para evitar a interrupção da hidrodinâmica local, e consequentemente evitar interferências na vegetação de mangue, foi proposta a adoção de solução de engenharia para a execução dos molhes, que consiste no ancoramento com elementos estruturais vazados, ou filtrantes, que não se interponham aos ciclos de variação das marés, permitindo assim as oscilações de enchente e vazante, sobre a planície de mangue.

Foram apresentados estudos da hidrodinâmica e transporte de sedimentos na barra do rio Juqueriquerê, bem como o levantamento dos critérios adotados para a definição do projeto, que considerou diferentes alternativas locacionais, comparadas entre si por meio de uma matriz multicritério que levou em conta parâmetros, como: custo, preservação da praia, navegabilidade, segurança dos banhistas às embarcações, etc. Além disso, para definição das dimensões das estruturas, foram realizados cálculos

O original deste documento é eletrônico e foi assinado digitalmente por FERNANDA DE CAMARGO FRANCESQUINI e FERNANDA AMARAL DANTAS SOBRAL e VANESSA HERMIDA FIDALGO GUERREIRO .
Para verificar a autenticidade desta cópia impressa, acesse o site https://e.ambiente.sp.gov.br/atendimento e informe o processo CETESB.055766/2018-80 e o código B47PJ3W0.

que consideraram os parâmetros de capacidade de manobrabilidade da embarcação, das condições do mar (altura de onda, corrente, vento, etc.) e da minimização da entrada de sedimentos.

Quanto às atividades de dragagem a serem realizadas, informou-se que o volume estimado é de 240.000 m³, sendo aproximadamente 25.000 m³ no rio Juqueriquerê e 215.000 m³ no canal externo, entre os molhes. Informou-se que deverá ser utilizada draga de sucção e recalque com tubulação de 18 polegadas na sucção e 16 polegadas no recalque operando sobre plataforma flutuante (barca), de modo a minimizar os índices de ressuspensão de sedimentos no curso d'água. São previstas ainda dragagens de manutenção que serão realizadas a cada 5 (cinco) anos.

Foram realizados estudos para caracterizar os sedimentos a serem dragados, os quais evidenciaram a granulometria predominantemente arenosa, não sendo identificado nenhuma substância química poluente acima do Nível 1, conforme Resolução CONAMA 454/2012. Nesse sentido, foi proposta a disposição final do sedimento na porção da praia, indicada na Figura 2, o que permitirá estabilizar a erosão que já ocorre no local.

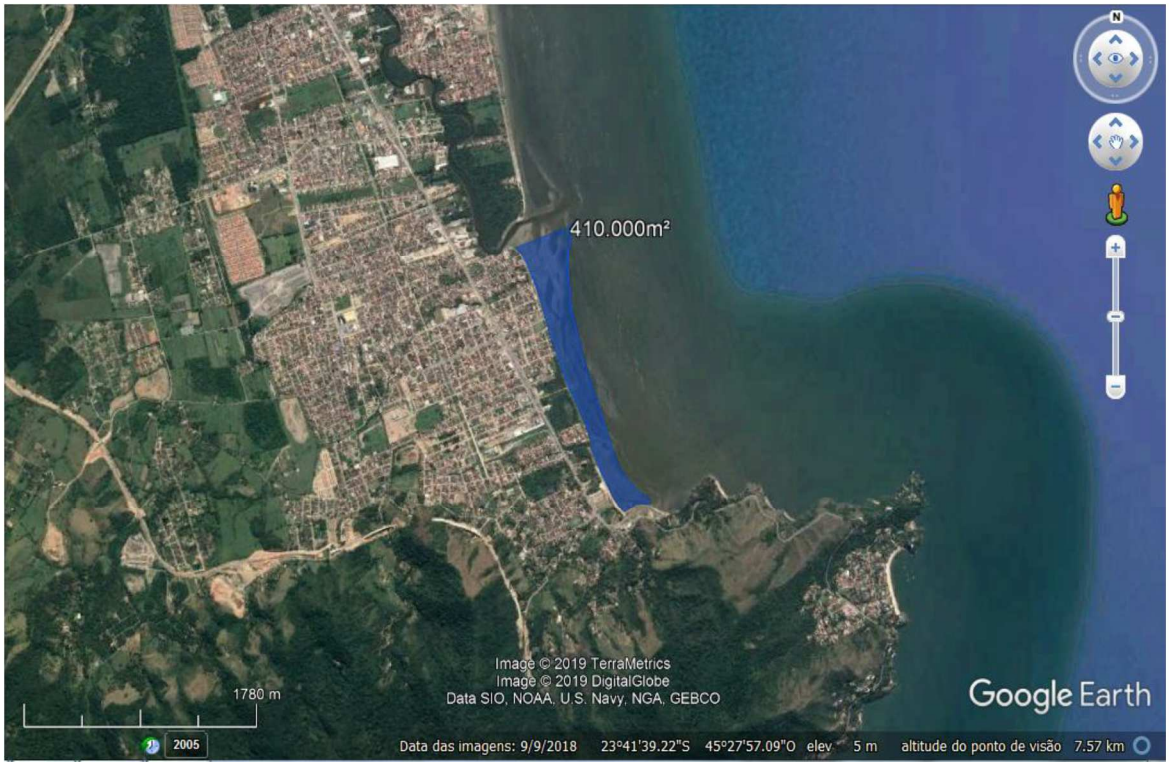


Figura 2: Localização proposta para disposição final do material a ser dragado.

Foi proposta a implementação dos Programas de Monitoramento da Ictiofauna e de Monitoramento da Qualidade das Águas, com campanhas de amostragem antecedendo o início das obras e perdurando durante a implantação do empreendimento.

De acordo com as informações apresentadas, foram realizadas reuniões para a apresentação do projeto à comunidade do Bairro Porto Novo, com a presença de autoridades e munícipes, como o Prefeito Municipal, Vice-Prefeito, Vereadores, Secretários municipais, pescadores, moradores dos bairros vizinhos e comunidade geral, além de entrevistas com a comunidade local para contribuições ao projeto de revitalização do rio Juqueriquerê.

4. ANÁLISE/CONSIDERAÇÕES

O projeto de revitalização do rio Juqueriquerê e os estudos protocolizados foram avaliados pelo Parecer Técnico n° 069/19/I, que de forma sucinta concluiu que: (i) as informações apresentadas permitiram obter

O original deste documento é eletrônico e foi assinado digitalmente por FERNANDA DE CAMARGO FRANCESQUINI e FERNANDA AMARAL DANTAS SOBRAL e VANESSA HERMIDA FIDALGO GUERREIRO .
Para verificar a autenticidade desta cópia impressa, acesse o site https://e.ambiente.sp.gov.br/atendimento e informe o processo CETESB.055766/2018-80 e o código B47PJ3W0.

uma compreensão significativa do padrão de transporte de sedimentos na região; (ii) as alternativas construtivas elencadas para os molhes dão garantia da preservação da praia; e (iii) o plano conceitual de dragagem atende aos requisitos da Resolução CONAMA 454/2012.

Tendo em vista o exposto e, considerando que:

- o projeto de revitalização do rio Juqueriquerê apresenta caráter de utilidade pública, por compreender obra de estrutura de apoio náutico (molhes) que permitirá condições de navegação mais seguras; além de atividades de dragagem que minimizarão as recorrentes inundações, de forma a melhorar a qualidade de vida da população local;
- o projeto apresentado foi resultado do estudo de diferentes alternativas técnicas e locacionais, que levaram em conta aspectos técnicos, ambientais e econômicos;
- foram previstas técnicas de engenharia para preservar a hidrodinâmica do ambiente de mangue presente no entorno do empreendimento;
- foi proposta a execução dos Programas de Monitoramento da Ictiofauna e da Qualidade das Águas para avaliação de eventuais interferências das obras;
- tem sido realizadas ações de comunicação junto à comunidade local, proporcionando esclarecimentos quanto ao projeto e oportunidade de participação;
- é previsto o uso benéfico de engordamento de praia para o sedimento a ser dragado no leito do rio Juqueriquerê e no canal interno entre os molhes que serão construídos;
- a Resolução SMA 54/07 estabelece como linha de corte para o licenciamento ambiental de dragagem com avaliação de impacto trechos de cursos d'água com extensão superior a 5 km;
- os molhes propostos no projeto de revitalização podem ser enquadrados como "Classe B", conforme Resolução SMA 102/2013, que estabelece os procedimentos para o licenciamento ambiental de estruturas e instalações de apoio náutico no Estado de São Paulo;

entende-se que o empreendimento não é passível de licenciamento ambiental no âmbito deste Departamento de Avaliação Ambiental de Empreendimentos – IE, devendo ser objeto de licenciamento ordinário junto à Agência Ambiental da CETESB de São Sebastião, considerando as recomendações do Parecer Técnico nº 069/19/I. Caso seja necessária supressão de vegetação nativa e/ou intervenção em Área de Preservação Permanente – APP para a execução das atividades de dragagem no rio Juqueriquerê, também deverá ser obtida previamente a respectiva Autorização junto àquela Agência.

Ressalta-se que o presente Parecer Técnico não dispensa nem substitui quaisquer alvarás, licenças, autorizações ou certidões de qualquer natureza, exigidos pela legislação federal, estadual ou municipal, bem como não significa reconhecimento de qualquer direito de propriedade.

Biól. Fernanda de Camargo Francesquini
Gerente do Setor de Avaliação de Obras Hidráulicas – IEOH
Reg. 7586 CRBio 74248/01-D

De acordo,

Biól. Vanessa Hermida Fidalgo Guerreiro
Gerente da Divisão de Avaliação de Obras Hidráulicas e Lineares - IEO
Reg. 7133 CRBio 68505/01-D

De acordo,

Geól. Fernanda Amaral Dantas Sobral
Gerente do Departamento de Avaliação Ambiental de Empreendimentos – IE
Reg. 6884 CREA 5.062.068.188/D

O original deste documento é eletrônico e foi assinado digitalmente por FERNANDA DE CAMARGO FRANCESQUINI e FERNANDA AMARAL DANTAS SOBRAL e VANESSA HERMIDA FIDALGO GUERREIRO .
Para verificar a autenticidade desta cópia impressa, acesse o site https://e.ambiente.sp.gov.br/atendimento e informe o processo CETESB.055766/2018-80 e o código B47PJ3W0.

PROCESSO:

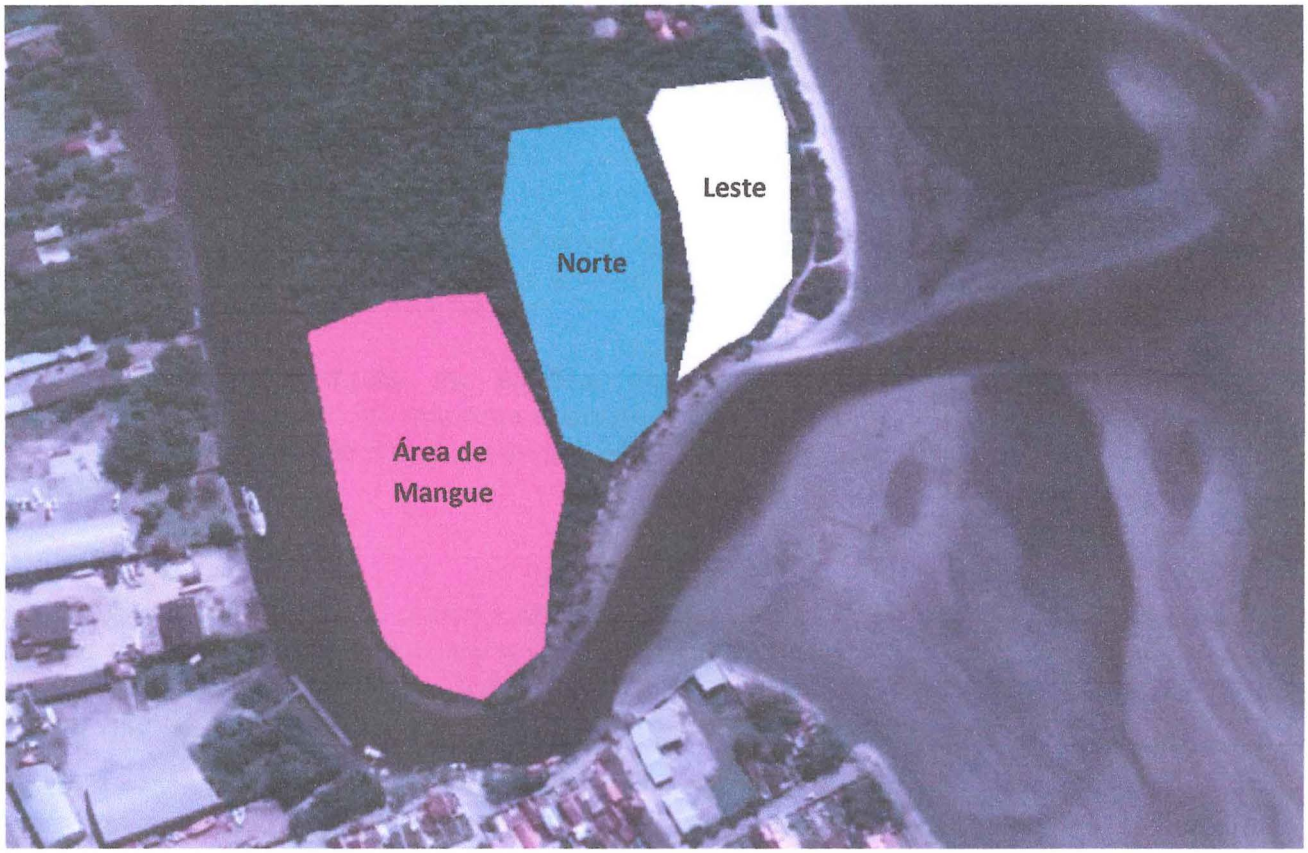
LAUDO DE COBERTURA VEGETAL

DATA:
16/07/2020

I - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA VISTORIADA:

PONTO DE REFERÊNCIA: Foz do Rio Juqueriquerê		
LOGRADOURO: Final da Avenida Geraldo Nogueira		
COORDENADA REFERÊNCIA: 23°42'30.44"S/45°25'44.40"O Datum WGS 84	BAIRRO: Porto Novo	MUNICÍPIO: Caraguatatuba - SP

II – CROQUI DE LOCALIZAÇÃO:



III - INTERESSADO:

Secretaria de Meio Ambiente Agricultura e Pesca - SMAAP

V - OBJETIVO:

Esta vistoria teve por objetivo realizar Laudo da Cobertura Vegetal da área onde sofrerá influência devido à construção dos molhes na foz do Rio Juqueriquerê.

LAUDO DE COBERTURA VEGETAL

DATA: 16/07/2020

VI – DESCRIÇÃO DO OBJETO:

A área objeto deste estudo trata-se de um fragmento florestal localizado na planície costeira a qual sofre influência das marés, recoberta por vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica

VII – METODOLOGIA APLICADA:

Vistoria realizada no dia 15 e 16 de julho de 2020 a fim de coletar dados para a confecção do Laudo de Cobertura Vegetal, análise de imagem de satélite (Google Earth), coleta das coordenadas por meio de GPS e relatório fotográfico.

A análise da cobertura vegetal presente no local foi realizada com base no manual de reconhecimento de espécies vegetais da restinga do Estado de São Paulo, elaborado pela secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo e Manual de identificação e cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil Vol. 01, 02 e 03 elaborado por Harri Lorenzi.

VIII – PARECER TÉCNICO:

Introdução:

O objetivo do presente trabalho é fornecer subsídio técnico para análise do processo de licenciamento ambiental da área onde sofrerá influência com a construção dos molhes na foz do Rio Juqueriquerê.

O presente laudo trata-se de analise da comunidade vegetal de uma área de aproximadamente 95.000 m² (noventa e cinco mil metros quadrados), através de vistorias em dois dias consecutivos de campo, sendo percorridos parcialmente duas regiões distintas da respectiva área.

Caracterização da Área

A área objeto deste estudo está localizada próxima à sede do Instituto Acalento, ao lado direito a montante quando de fronte a foz do rio Juqueriquerê. Apresenta um mosaico de três tipologias, ocorrendo vegetação típica de mangue, Floresta Baixa e Alta de Restinga, sendo que em vistoria foram percorridos trechos das tipologias supracitadas.

A area Leste apresenta vegetação típica de Floresta Baixa de Restinga com cobertura vegetal de espécies nativas de indivíduos arbóreos de Jerivá (*Arecastrum romanzoffianum*), Araçá da praia (*Psidium cattleyanum*), embaúba (*Cecropia sp.)* , compondo a tipologia vegetal dessa área há ocorrência também de bromeliáceas e samambaias típicas de restinga, exemplares de Guaco (*Mikania sp.*), *Philodendron sp. e* Trucuá *(Monstera adensonii).*

Na parte sujeita a efeito de borda, próxima a uma trilha, há exemplares arbóreos exóticos sendo estes Chapéu de Sol (Terminalia Catappa), Leucena (Leucaena Leucocephala), Margaridão (*Tithonia diversifolia)* sendo estas últimas espécie invasoras. Há ocorrência de exemplares exóticos no interior dessa área com ocorrência de Bambu (*Bambusa sp.*) e Bananeira (*Musa sp.*)

A área Norte apresenta vegetação típica de Floresta Alta de Restinga com exemplares

arbóreos de Jerivá (*Arecastrum romanzoffianum*), Capororoca (*Rapanea ferrugínea*), Embaúba (*Cecropia sp.),* bromeliáceas epífitas e terrestres, com ocorrência de *Philodendron sp. e Monstera adensonii.*

A área de mangue apresenta ocorrência de mangue vermelho *(Rhizophora mangle),* mangue branco *(Laguncularia racemos),* Algodoeiro da praia (*Hibiscus pernanbucensis*), bromeliacea e samambaias terrestres.

Conclusão:

Diante o exposto, a área Leste apresenta vegetação típica de floresta baixa de restinga com trechos antropizados próximos a trilha existente no local, a área Norte apresenta vegetação típica de floresta alta de restinga com a área mais centralizada desse trecho inacessível no momento da vistoria, já a área de mangue apresenta vegetação típica desse ecossistema, não podendo ter adentrado mais nesta região, pois no momento da vistoria encontrava-se a maré "cheia", não ocorrendo variação significativa da mesma para vistoria mais detalhada.

Tendo em vista que na região há uma área de manguezal, e de acordo com os termos dispostos no Inciso VII do artigo 4º da LF 12.651/2012 (Código Florestal), essa tipologia vegetal é considerada área de preservação permanente em toda sua extensão;

Considerando a informação supracitada, sugiro que seja realizado levantamento da extensão da área com tal tipologia (mangue), com possível monitoramento da carcinofauna da área em questão para instalação dos molhes.

V – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO:

LAUDO DE COBERTURA VEGETAL

DATA:
16/07/2020

LAUDO DE COBERTURA VEGETAL

DATA:
16/07/2020

LAUDO DE COBERTURA VEGETAL

DATA:
16/07/2020

LAUDO DE COBERTURA VEGETAL

DATA:
16/07/2020

Thaison P. Oliveira Silva
Mat. 15132
CRBio 004239/01-D
Secr. Mun. de Meio Ambiente, Agricultura e Pesca

PROCESSO:

LAUDO DE COBERTURA VEGETAL

DATA:
16/07/2020

I - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA VISTORIADA:

PONTO DE REFERÊNCIA: Foz Rio Juqueriquerê		
LOGRADOURO: Final da Avenida Geraldo Nogueira		
COORDENADA REFERÊNCIA: 23°42'30.44"S/45°25'44.40"O Datum WGS 84	BAIRRO: Porto Novo	MUNICÍPIO: Caraguatatuba - SP

II – CROQUI DE LOCALIZAÇÃO:

III - INTERESSADO:

Secretaria de Meio Ambiente Agricultura e Pesca - SMAAP

V - OBJETIVO:

Esta vistoria teve por objetivo realizar Laudo da Cobertura Vegetal da área onde ocorrerá intervenção para implantação da raiz norte dos molhes na foz do Rio Juqueriquerê.

VI – DESCRIÇÃO DO OBJETO:

Área localizada no trecho de praia, recoberta com predominância de vegetação nativa da Mata Atlântica, apresentando trechos com vegetação ruderal.

LAUDO DE COBERTURA VEGETAL

DATA: 16/07/2020

VII – METODOLOGIA APLICADA:

A vistoria foi realizada no dia 15 de julho de 2020 a fim de coletar dados para a confecção do Laudo de Cobertura Vegetal e análise de imagem de satélite (Google Earth), Ortofoto IGC (base cartográfica 1977) e PortalGeo Prefeitura de Caraguatatuba.

A análise da cobertura vegetal presente no local foi realizada com base no manual de reconhecimento de espécies vegetais da restinga do Estado de São Paulo, elaborado pela secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

VIII – PARECER TÉCNICO:

Introdução:

O objetivo do presente trabalho é fornecer subsídio técnico para análise do processo de licenciamento ambiental da área onde ocorrerá intervenção para dar acesso a construção do enrocamento dos molhes na foz do Rio Juqueriquerê.

No presente laudo será analisada somente a comunidade vegetal de uma área aproximadamente de 3.800 metros de extensão (três mil e oitocentos metros quadrados) localizado em trecho de praia, sendo este trecho o único a ser suprimido para o acesso a obra do enrocamento.

Caracterização da Área

A área objeto deste estudo está localizada próxima à sede do Instituto Acalento, no trecho de praia próximo ao Instituto até a foz do Rio Juqueriquerê, com influência de marés. Apresenta vegetação predominante de cordões arenosos conforme Item III da Resolução CONAMA 07/1996, com trechos compostos por exemplares arbóreos e arbustivos exóticos. Entre esse fragmento de vegetação e o maciço florestal existente há uma pequena trilha de cerca de dois metros de largura por cento e noventa de comprimento a qual leva os transeuntes até a foz do curso d'água, e duas pequenas trilhas transversais de cerca de 1,5 metro de largura por cerca de 6,5 metros de comprimento e uma trilha de 6 metros de largura por 16 metros de comprimento, sendo estas desprovidas de vegetação.

A área em análise trata-se de morrotes de material depositado, composto de substrato com material retirado do leito do curso d'água oriundos de dragagem realizada no ano de 2009 e trechos com material oriundo de resíduos de construção civil (RCC).

Cobertura Vegetal:

Por a área em análise ser um morrote composto principalmente de substrato arenoso retirado do leito do curso d'água ali existente e sofrer forte influência fluvio marinha, a composição vegetal se dá principalmente por exemplares vegetais edáficos.

A maior predominância da cobertura vegetal analisada se dá por exemplares nativos da espécie arbustiva de *Dalbergia ecastaphilla* (Marmeleiro da praia) e rasteira de Acariçoba (*Hydrocotyle bonariensis*), pode-se notar a presença de Algodoeiro da praia (*Hibiscus pernanbucensis*), Erva baleeira (*Cordia verbenacea*), Jurubeba (*Solanum paniculatum*) sendo este comum em área com perturbação, Mulungu (Erythrina speciosa) e Crindiuva (*Trema micrantha*). Estes últimos, indivíduos arbóreos típicos da Mata Atlântica, porém

pouco encontrados em trechos de cordões arenosos.

Entretanto podem-se notar trechos com vegetação ruderal, tendo grande predominância na área de maior perturbação (próximo a foz) da espécie *Tithonia diversifolia*(Margaridão), sendo está considerada uma espécie invasora. Pode-se afirmar também a presença de exemplares exóticos de Chapéu de Sol (*Terminalia Catappa*), Mamona (*Ricinus communis*), trechos com capim gordura (*Melinis sp.*)

Conclusão:

Diante o exposto, a área apresenta cobertura vegetal nativa com espécies típicas de cordões arenosos conforme Item III da Resolução CONAMA 07/1996, trechos de vegetação ruderal com espécies exótica sendo uma delas invasoras, podendo afirmar que se trata de área antropizada com substrato que possibilite tal fitofisionimia.

Ressalto que a análise de vegetação realizada no local, retrata somente o cenário apresentado no momento da vistoria, visto que a vegetação de escrube apresenta grande dinamismo, estando sua distribuição ligada a fatores naturais e antrópicos.

V – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO:

PROCESSO:

LAUDO DE COBERTURA VEGETAL

DATA:
16/07/2020

LAUDO DE COBERTURA VEGETAL

DATA:
16/07/2020

PROCESSO:

LAUDO DE COBERTURA VEGETAL

DATA:
16/07/2020

LAUDO DE COBERTURA VEGETAL

DATA:
16/07/2020

Thaison P. Oliveira Silva
Mat. 15132
CRBio 004239/01-D
Secr. Mun. de Meio Ambiente, Agricultura e Pesca

PROCESSO:

LAUDO DE COBERTURA VEGETAL

DATA:
16/07/2020

I - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA VISTORIADA:

PONTO DE REFERÊNCIA: Foz Rio Juqueriquerê			
LOGRADOURO: Final da Rua Porto Novo			
COORDENADA REFERÊNCIA: 23°42'34.66"S / 45°25'39.05"O	Datum WGS 84	BAIRRO: Porto Novo	MUNICÍPIO: Caraguatatuba - SP

II – CROQUI DE LOCALIZAÇÃO:

III - INTERESSADO:

Secretaria de Meio Ambiente Agricultura e Pesca - SMAAP

V - OBJETIVO:

Esta vistoria teve por objetivo realizar Laudo da Cobertura Vegetal da área onde ocorrerá intervenção para implantação da raiz sul do molhe na foz do Rio Juqueriquerê.

VI – DESCRIÇÃO DO OBJETO:

Área localizada no trecho de praia, com duas edificações no local e cobertura vegetal de árvores isoladas nativas e exóticas.

LAUDO DE COBERTURA VEGETAL

DATA:
16/07/2020

VII – METODOLOGIA APLICADA:

A vistoria foi realizada no dia 15 de julho de 2020 a fim de coletar dados para a confecção do Laudo de Cobertura Vegetal e análise de imagem de satélite (Google Earth).

A análise da cobertura vegetal presente no local foi realizada com base no manual de reconhecimento de espécies vegetais da restinga do Estado de São Paulo, elaborado pela secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

VIII – PARECER TÉCNICO:

Introdução:

O objetivo do presente trabalho é fornecer subsídio técnico para análise do processo de licenciamento ambiental da área onde ocorrerá intervenção para a construção do enrocamento dos molhes na foz do Rio Juqueriquerê.

No presente laudo será analisado somente a comunidade vegetal de uma área de aproximadamente 1.700 m² (um mil e setecentos metros quadrados) localizada no lado esquerdo da foz do rio Juqueriquerê quando de fronte a montante, sendo este trecho o único a ser suprimido para o acesso a obra do enrocamento .

Caracterização da Área

A área objeto deste estudo está localizada no final da Rua Porto Novo próximo a foz do Rio Juqueriquerê, na área há duas edificações e o trecho de fronte para praia é aterrado com resíduos da construção civil (RCC)e ao lado oposto há um trecho o qual da acesso as duas residências que se encontram na área em questão.

Apresenta indivíduos arbóreos isolados nativos e exóticos com o solo compactado com trechos composto por RCC e areia da praia. Pode-se dizer que a área de fronte a praia sofre grande influencia com a variação das marés na região.

Cobertura Vegetal:

A área em análise é composta por indivíduos arbóreos isolados, constando 20 exemplares de Aroeira (Schinus terebinthifolia), 03 de Jerivá (*Arecastrum romanzoffianum), 02 Palmeira Indaiá (Attalea dúbia*) 01 indivíduo de Mulungu (*Erythrina speciosa*) e uma touceira de Marmeleiro da praia (*Dalbergia ecastaphilla)* utilizada como cerca viva, sendo estes todos exemplares nativos. Na área há também exemplares arbóreos exóticos, sendo 07 Chapéu de Sol (*Terminalia Catappa*), 02 Coqueiros (*Cocos nucifera*) e 01 Cheflera (*Schefflera actinophylla),* com ocorrência de *Brachiaria sp.* e *Musa sp.*

Cabe destacar que todos os indivíduos arbóreos supracitados estão distribuídos em uma área de 1.700 m², descaracterizada como fragmento florestal mesmo ocorrendo espécies nativas, pois não há contato das copas dos exemplares existentes, a área do subbosque é desprovida de vegetação sendo esta a área útil das edificações.

LAUDO DE COBERTURA VEGETAL

DATA:
16/07/2020

Conclusão:

Diante o exposto, a área apresenta cobertura vegetal de exemplares arbóreos isolados com indivíduos nativos e exóticos, distribuídas entre as duas residências existentes no local, não caracterizando como fragmento florestal.

Cabe destacar que mesmo estando dentro da faixa dos 300 metros medidos da linha preamar, a área não caracteriza como Área de Preservação Permanente conforme os termos dispostos na Resolução CONAMA 303/2002, por esta desprovida de vegetação nativa, por ser área antropizada e já ocupada, por fim, por ter ocorrido aterro.

Ressalto que a análise de vegetação realizada no local, retrata somente o cenário apresentado no momento da vistoria, visto que a área em questão sofre grande influência da variação das marés.

V – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO:

LAUDO DE COBERTURA VEGETAL

DATA:
16/07/2020

LAUDO DE COBERTURA VEGETAL

DATA:
16/07/2020

PROCESSO:

LAUDO DE COBERTURA VEGETAL

DATA:
16/07/2020

PROCESSO:

LAUDO DE COBERTURA VEGETAL

DATA:
16/07/2020

Thaison P. Oliveira Silva
Mat. 15132
CRBio 004239/01-D
Secr. Mun. de Meio Ambiente, Agricultura e Pesca