

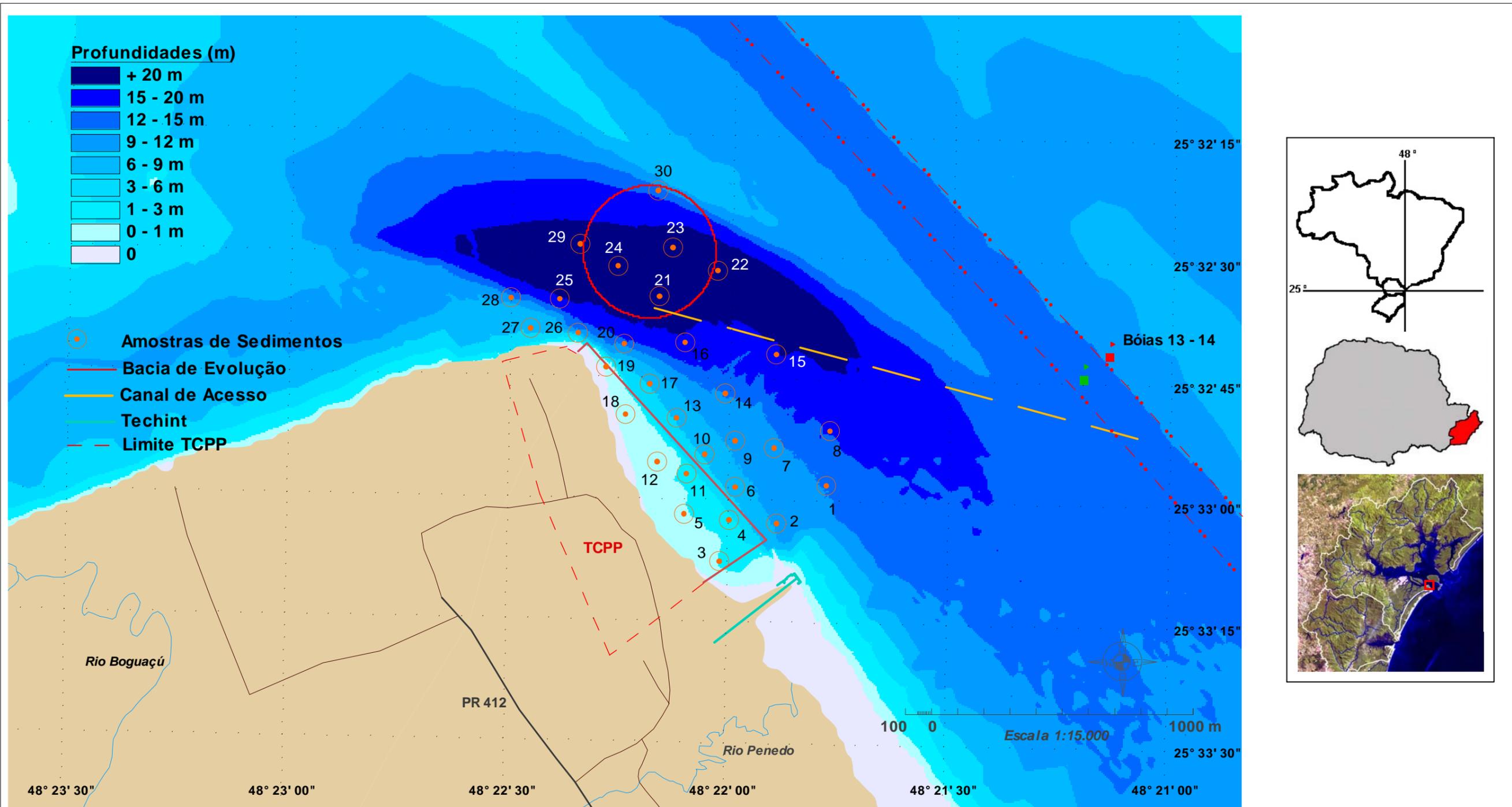
 <p>AMB Planejamento Ambiental e Biotecnologia Ltda</p>	<p>Pontal do Paraná Importação e Exportação Ltda</p> 	
		<p>Coordenador Geral Rodolfo José Angulo</p>
<p>Geoprocessamento Maria Cristina de Souza Maurício Almeida Noernberg</p>	<p>Figura 5.1.1: Mapa de localização das sondagens geotécnicas</p>	<p>Escala 1:15.000</p>

Para a caracterização dos sedimentos de fundo na ADA foi realizada uma campanha de amostragem, visando, além de caracterizar a área, atender à Resolução Conama nº. 344/04. O volume médio de sedimentos a ser dragado na área dos berços foi estimado em 1 472 592 m<sup>3</sup>, para atender a resolução seriam necessários de 16 a 30 pontos, com base nisto foram definidos 30 pontos amostrais conforme indicado na figura 5.1.2 e na tabela 5.1.2. A campanha foi realizada no dia 12 de fevereiro de 2007. Os sedimentos foram obtidos com uma draga busca-fundo do tipo *Petit Ponar* e a localização dos pontos foi determinada com um GPS Garmin eTrex. As coordenadas foram definidas no sistema UTM, referenciados ao meridiano central -51°. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, isoladas da temperatura ambiente em caixa térmica e conduzidas para o Laboratório de Sedimentologia do Centro de Estudos do Mar da Universidade Federal do Paraná (CEM/UFPR), com sede no município de Pontal do Paraná. As análises granulométricas foram realizadas por métodos convencionais adotando o peneiramento para partículas mais grossas que 0,062 mm (frações areia) e pipetagem para frações mais finas (silte e argila). A escala granulométrica empregada foi a de Wentworth (1922) e os intervalos de pipetagem foram calculados segundo a lei de Stokes sob temperatura constante de 20°C (Suguió 1973, Giannini 1987). Os teores de carbonato de cálcio e matéria orgânica foram analisados, respectivamente, por ataque com HCl a 10 % e pelo ataque com peróxido de hidrogênio (água oxigenada) (Suguió 1973, Giannini 1987). Estas análises foram realizadas no Laboratório de Sedimentologia do Centro de Estudos do Mar da UFPR e os parâmetros estatísticos calculados pelo método dos momentos utilizando o *software Sysgran* (Anexo 5.1-I). Os parâmetros estatísticos obtidos através dos métodos dos momentos foram recalculados utilizando o *software Momentos*, versão 4, desenvolvido por Paulo C. F. Giannini, do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - IGc-USP.

O levantamento geofísico com sísmica de alta resolução na AID foi executado pela empresa Cartografia, Hidrografia e Digitalização de Mapas - CHD. Foram obtidos dados em 42 perfis geofísicos, recobrindo a AID totalizando aproximadamente 36 km de extensão. Os dados sísmicos brutos foram processados no *software Discover 3.27* da Edgetech Inc. para a filtragem dos ruídos de alta frequência e redução dos efeitos de caturro, pitch e rolling do transdutor acoplado a embarcação. Foi feita a correção de profundidade do peixe (*tow-fish*) com base nos dados batimétricos executado simultaneamente ao levantamento sísmico. Foi atribuído um valor constante de 1 500 m/s para a conversão tempo-profundidade dos horizontes sísmicos. Em seguida os dados foram georeferenciados com a utilização do *software AutoCAD*. Os dados processados foram interpretados de acordo com os conceitos de ecocaráter e estratigrafia de seqüências, utilizados e adaptados com base nas metodologias científicas definidas originalmente por Damuth (1978), Damuth *et al.* (1980) e Vail *et al.* (1977). A metodologia detalhada e os equipamentos utilizados estão apresentados no Relatório Final da CHD (Anexo 2-IX).







 AMB Planejamento Ambiental e Biotecnologia Ltda	Pontal do Paraná Importação e Exportação Ltda 	Coordenador Geral Rodolfo José Angulo	Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental para o Terminal de Contêineres de Pontal do Paraná	Data jun/2007
		Geoprocessamento Maria Cristina de Souza Mauricio Almeida Noernberg	Figura 5.1.2: Localização dos pontos amostrais de sedimentos de fundo e água no estuário.	Escala 1:15.000

O levantamento topo-batimétrico foi realizado pela empresa Cartografia, Hidrografia e Digitalização de Mapas – CHD. O levantamento foi executado em uma área de aproximadamente 250 000 m<sup>2</sup>, no período da baixa-mar, possibilitando adentrar o máximo possível em direção ao mar. Foram levantados 89 perfis, partindo-se do limite superior da praia até o limite possível de mensuração no mar ou até alcançar o levantamento batimétrico. A origem do levantamento altimétrico foi a RN 1 – CHD, referenciado ao NR da DHN, para o Canal da Galheta. Já a origem planimétrica, foi estabelecida a partir de rastreio de dois pontos E1 e E2, utilizando-se rastreador de precisão submétrica, ao qual atendeu ao serviço. Partindo dos referidos pontos foi implantada uma rede de pontos topográficos, todos em coordenada UTM. No levantamento foi utilizada uma Estação Total Nikon, com precisão de um segundo, a qual todos os dados no campo eram gravados e posteriormente descarregados e calculados em software específico. Com a impossibilidade de continuar com a topografia devido à maré (estófo de preamar), utilizou-se o sistema batimétrico. Com este sistema as áreas mais afastadas da praia foram cobertas, de modo a permitir uma maior abrangência do levantamento. Isto basicamente ocorreu somente no dia 15/02/07 e foi executado dentro do limite de segurança da operação da embarcação. Os serviços foram realizados com metodologia, padrões e precisões estipulados pela norma A-6A, adotada pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) para os levantamentos hidrográficos categoria “A”. Quando da utilização do sistema batimétrico, o posicionamento da embarcação utilizado foi o Sistema de Posicionamento por Satélite SDGPS (*Satellital Differential Global Positioning System*), as correções diferenciais foram fornecidas pelo sistema LandStar, que são combinadas com os sinais dos satélites GPS no próprio receptor GPS, para suprir uma posição GPS corrigida diferencialmente (DGPS). Para o início da batimetria os equipamentos foram checados e o ecobatímetro calibrado pelo método da placa, estabilizada em profundidades conhecidas. A calibragem foi realizada no início de cada dia de trabalho, utilizando-se uma placa metálica presa a um cabo de aço graduado de metro em metro, tendo sido adotado os seguintes procedimentos: (a) lançamento da placa em diversas profundidades pré-determinadas e (b) calibragem do ecobatímetro, ajustando-se a velocidade do som e o ganho até que fosse registrada a profundidade em que se encontrava a placa. Posteriormente foi ajustado o valor mostrado no “display” do equipamento para que coincidissem com o valor registrado em papel. Durante os levantamentos foram coletados simultaneamente, os dados dos equipamentos de posicionamento (SDGPS) e de profundidades (ecobatímetro) e agrupados pelo programa Hypack. Durante a fase de processamento os perfis digitais foram comparados com os registrados analogicamente pelo ecobatímetro (ecograma), sendo todos os dados espúrios eliminados. Após a edição dos dados, fez-se a escolha das sondagens por método “sort” do programa Hypack e, em função da escala adotada para a planta final, foi gerado um arquivo XYZ contendo os valores de coordenadas em X (coordenada UTM E), em Y (coordenada UTM N) e Z (cota em metros). Este arquivo foi a base dos dados do levantamento, utilizada na produção da planta topo-batimétrica. De modo a permitir a integração da topografia e da batimetria, as cotas foram referenciadas ao NR da DHN para o Canal da Galheta a partir da RN-01 da estação maregráfica do Porto Pontal. A estação de leitura de régua foi ocupada durante a realização dos levantamentos batimétricos, observando-se a variação da maré, de



forma a permitir sua correção. As plantas topo-batimétrica, foram produzidas utilizando-se o *software* AutoCAD 2000. A metodologia detalhada e os equipamentos utilizados estão apresentados no Relatório Final da CHD (Anexo 2-V).

#### 5.1.1.4. Pedologia

Os procedimentos metodológicos utilizados para a pedologia foram, além da pesquisa bibliográfica e utilização de fontes secundárias, a fotointerpretação e descrições de campo.

#### 5.1.1.5. Recursos hídricos

##### 5.1.1.5.1. Hidrologia e hidrogeologia

###### 5.1.1.5.1.1. Introdução

A implantação de um porto afeta diretamente o ambiente continental no que se refere a seus corpos hídricos. O impacto se manifesta fisicamente desde a alteração das condições de infiltração de água pluvial até interferências do fluxo do aquífero livre em face de edificações na subsuperfície. Por outro lado, as possibilidades de interferências no quimismo do sistema hídrico local são inúmeras. Algumas são desencadeadas por afluxos diretos de contaminantes infiltrados acidental ou sistematicamente no solo e outras por derrames ou lançamentos diretos nos corpos hídricos.

No caso de portos, derramamentos de poluentes no estuário podem afetar corpos de água continentais através de acesso por canais ou rios afetados por intrusões de água por influência de marés.

Em se considerando as vias de acesso ao empreendimento, as áreas de vulnerabilidade dos corpos hídricos aumentam na medida em que são acessados pelas referidas vias.

Todas as possibilidades citadas e outras mais são grandemente potencializadas quando se trata de efluentes líquidos, em face de sua elevada mobilidade e facilidade de acesso aos corpos hídricos.

###### 5.1.1.5.1.2. Objetivos

Fazer um diagnóstico do comportamento hidrodinâmico e de qualidade de água dos mananciais subterrâneos na área de Ponta do Poço, bem como fazer prognósticos sobre possíveis impactos da implantação de um terminal de contêineres naquele local.

###### 5.1.1.5.1.3. Metodologia do diagnóstico ambiental dos corpos hídricos continentais

O diagnóstico ambiental relativo aos corpos hídricos continentais foi desenvolvido em três etapas:

- apropriação e análise de informações existentes sobre a hidrografia, hidrogeologia e qualidade das águas subterrâneas na região;
- obtenção de dados primários de qualidade de água e piezometria do aquífero livre no local do empreendimento;



- interpretação dos dados obtidos e estabelecimento de um modelo conceitual de circulação de água;
- avaliação de possíveis impactos no padrão de circulação de água e na qualidade da água subterrânea local, em função da implantação do empreendimento.

### Apropriação e análise de informações existentes

Foram levantadas informações existentes sobre a hidrografia, hidrogeologia e qualidade das águas superficiais e subterrâneas da região em: bancos de dados de órgãos oficiais como a SUDERHSA, IAP, SANEPAR, publicações técnicas e científicas de trabalhos desenvolvidos na região litorânea do Paraná, empresas de perfuração de poços tubulares e grupos de pesquisa da Universidade Federal do Paraná.

As informações levantadas se referem ao clima, as águas superficiais, a geologia e as águas subterrâneas.

### Obtenção de dados primários

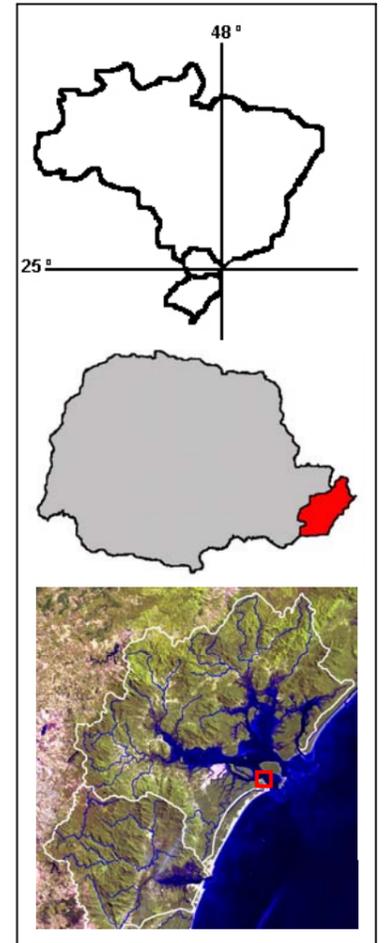
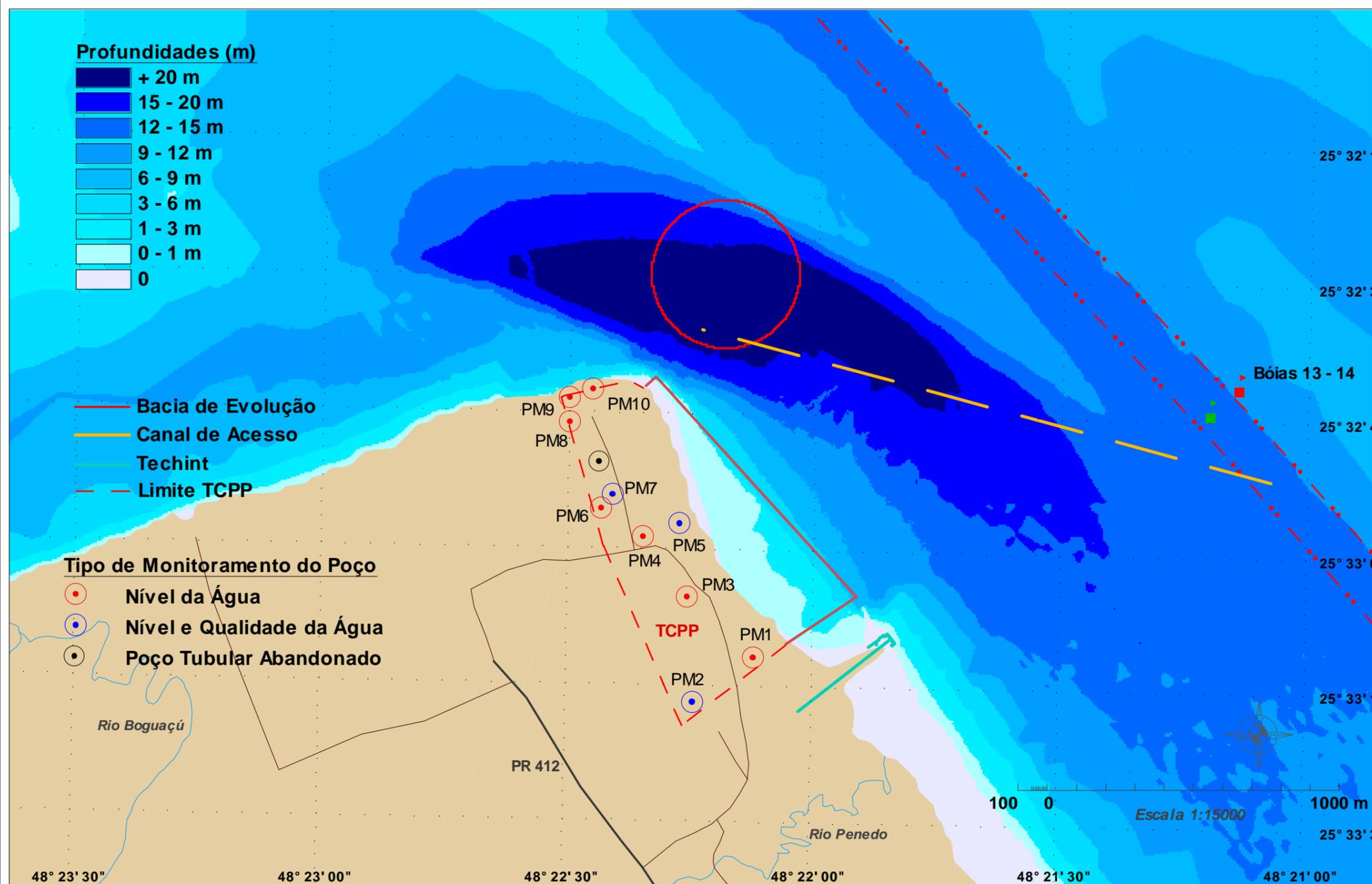
Os dados primários obtidos se referem, sobretudo, a águas subterrâneas, em função da ausência de corpos de água continentais superficiais na área de interesse deste estudo. Foram obtidos dados da piezometria do aquífero freático e da qualidade das águas.

### Determinação do nível potenciométrico do aquífero livre

Como já foi salientado, os corpos hídricos significativos na AID são subterrâneos. Para a obtenção de dados primários, foi implantada uma rede de sete poços piezômetros e três poços de monitoramento da qualidade de água, distribuídos na área do empreendimento conforme se apresenta na figura 5.1.3 e na tabela 5.1.3. Esses poços foram locados com o auxílio de imagens aéreas, de informações geotécnicas do local, bem como de informações do projeto de engenharia do terminal. Os poços foram distribuídos de maneira a possibilitar a avaliação do gradiente da superfície potenciométrica do corpo de água continental em relação ao nível das marés.

**Tabela 5.1.3: Coordenadas UTM dos poços de monitoramento da qualidade da água e de medição de nível potenciométrico do aquífero livre na ADA.**

Ponto	Latitude (m)	Longitude (m)	Profundidade do poço (m)	Cota da boca do poço (m)
PM-1	764387	7171162	4,43	3,21
PM-2	764180	7171011	5,00	3,76
PM-3	764163	7171369	4,90	3,46
PM-4	764013	7171574	4,81	3,44
PM-5	764137	7171618	5,03	2,40
PM-6	763871	7171671	4,50	3,55
PM-7	763910	7171718	4,39	3,41
PM-8	763765	7171964	4,79	3,38
PM-9	763765	7172047	4,95	3,18
PM-10	763844	7172076	5,25	2,73
Poço tubular	763874	7171829	3,18	1,61



 <b>AMB</b> Planejamento Ambiental e Biotecnologia Ltda	Pontal do Paraná Importação e Exportação Ltda 	Coordenador Geral Rodolfo José Angulo	Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental para o Terminal de Contêineres de Ponta Paraná	Data jun/2007
		Geoprocessamento Maria Cristina de Souza Mauricio Almeida Noernberg	Figura 5.1.3: Mapa de localização dos poços piezômetros e de monitoramento da água.	Escala 1:15.000

Os poços de monitoramento foram perfurados com trado manual até a profundidade do nível freático, sendo então aprofundados através do processo por jato de água doce. Foram empregados na conclusão dos poços, tubos de PVC rígido com diâmetros de 40 mm (poços piezômetros) e 50 mm (poços para monitoramento da água). Nos poços de monitoramento, os tubos de revestimentos ficaram 40 cm salientes da superfície do terreno, e protegidos com uma base de cimento. Os tubos dos piezômetros, por medida de prevenção, foram cortados rente ao chão, tampados e identificados com estacas de madeira. As cotas dos poços (nível do solo) foram obtidas da planta topográfica da área.

#### 5.1.1.5.2. Qualidade da água

##### 5.1.1.5.2.1. Qualidade da água do aquífero livre

#### Trabalhos de campo

A composição do aquífero livre na área de diretamente afetada (ADA) foi obtida através da análise de água dos poços de monitoramento PM-2, PM-5 e PM-7, apresentados na tabela 5.1.3.

A coleta de amostras foi procedida no dia 09/04/07 após esgotamentos sucessivos de toda a água acumulada nos poços, de modo que houvesse uma estabilidade nas medidas de condutividade, pH e temperatura da água, caracterizando uma amostragem significativa da água do freático no local. Foram utilizados amostradores do tipo “bailer”, descartados após cada coleta a fim de se evitar eventuais contaminações (Figuras 5.1.4 e 5.1.5).

Para a condutividade em campo foi utilizado um equipamento portátil marca Mettler Toledo modelo MC-126 e para o pH, o potenciômetro empregado, da mesma marca, foi o modelo MP-120 (Figuras 5.1.4 e 5.1.5).

Tão logo coletadas as amostras foram colocadas em frascos específicos ao tipo de variável a ser analisada e acondicionadas em contêineres isotérmicos contendo gelo, para condução até o laboratório em Curitiba. As amostras foram entregues ao laboratório no mesmo dia em que foram efetuadas as coletas (Figuras 5.1.4 e 5.1.5).



Figura 5.1.4: Equipamentos e frascaria utilizada nas medições *in situ* e acondicionamento de amostras para análise laboratorial.

*[Handwritten signatures and initials in the right margin]*



Figura 5.1.5: Detalhe da coleta de amostras no poço de monitoramento PM-7, através de bailer.

### Análises laboratoriais

Foram selecionadas para análise laboratorial uma gama de parâmetros previstos na portaria Conama 357/05 além de variáveis necessárias a uma análise hidrogeoquímica do sistema hídrico local.

As análises laboratoriais foram realizadas nos laboratório do CETESAM/SENAI em Curitiba, segundo normas técnicas especificadas no quadro 5.1.1, os resultados das análises são apresentados no Anexo 5.1-II.

**Quadro 5.1.1: Normas técnicas utilizadas para a realização das análises laboratoriais pelo CETESAM/SENAI.**

Analito	Norma técnica
Ensaio físico-químico e instrumentais: espectrometria de absorção atômica, pesticidas e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos	Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, 20 ed., 1998 (APHA 1998), Hach Company e WTW
Benzeno, Tolueno, Xileno, Etilbenzeno	Norma DIN 38407 F9 /1991
Herbicidas 2,4-D e 2,4,5-T	Norma DINEN ISO 15913 /2003
Trihalometanos e compostos orgânicos voláteis	Norma EM ISO 10301 /1993
Hidrocarbonetos totais de petróleo	Norma ISO 9377-2 /2000
Clorofenóis	Norma DIN EM 12673 F15 /1999

#### 5.1.1.5.2.2. Qualidade da água estuarina

Para a coluna d'água, os estudos foram efetuados a partir da amostragem de água de superfície e de fundo, com auxílio de uma garrafa de Van Dorn/Niskin, para medições dos seguintes parâmetros: salinidade, temperatura, pH, transparência, alcalinidade, oxigênio dissolvido, clorofila-a, material particulado em suspensão, carbono orgânico particulado, nutrientes inorgânicos dissolvidos (nitrato, nitrito, amônio, fosfato e silicato) e nitrogênio e fósforo totais, de acordo com as metodologias descritas por Grasshoff *et al.* (1983), Strickland & Parsons (1972) e Carmouze (1994). Medições da salinidade e temperatura foram efetuadas com auxílio de um CTD ou Refratômetro, e transparência com um disco de Secchi.

A qualidade da água da área afetada pelo empreendimento foi caracterizada conforme a resolução Conama 357/05. Para tal, a área foi enquadrada na classe 2 das águas salobras da referida resolução, considerando que a mesma é utilizada para a pesca e recreação de contato primário. As atividades de pesca artesanal e de subsistência são praticadas em área adjacente à considerada nesta caracterização.

Para investigar-se a qualidade da água, foram feitas duas campanhas de amostragem uma em 13/02/07 e outra em 16/03/07.

A primeira campanha (13/02/07) foi realizada em conjunto com a coleta de sedimentos para a caracterização geoquímica na área, com amostragem de água em 17 pontos com auxílio de uma garrafa de Niskin, em três níveis (superfície, meia-água e fundo) nos pontos com profundidades superiores a 3 m; dois níveis (superfície e fundo) em pontos com profundidade entre 3 e 2 m; e um nível (meia-água) em profundidades menores ou iguais a dois metros (Figura 5.1.2 e tabela 5.1.2).

A salinidade, a temperatura e a transparência da água (Secchi) foram determinadas *in situ* com auxílio de um refratômetro ATAGO, termômetro padrão de mercúrio e disco de Secchi, respectivamente.

Alíquotas de água para a determinação do oxigênio dissolvido foram tomadas e fixadas imediatamente após a coleta e conservadas em caixa térmica com água do local até a análise em laboratório dentro de um período de 24 h após a coleta, pelo método de Winkler descrito por Grasshoff *et al.* (1999). As amostras para nutrientes inorgânicos dissolvidos (nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e ortofosfato), polifosfatos e carbono orgânico total foram conservadas em caixa térmica com gelo até a chegada em laboratório. As amostras para nutrientes foram filtradas em filtros de fibra de vidro (Schleicher & Schuell, GF-52C) e determinadas gravimetricamente conforme metodologia descrita por Strickland & Parsons (1972). Os nutrientes inorgânicos dissolvidos (determinados no filtrado) e polifosfatos foram determinados segundo os procedimentos descritos por Grasshoff *et al.* (1999). O carbono orgânico total foi analisado em amostras não filtradas por oxidação com dicromato ácido, conforme o método descrito por Strickland & Parsons (1972). Para verificar se houve variação entre as camadas amostradas, utilizou-se o teste-t, para amostras independentes por grupos.

A segunda campanha (16/03/07), cobrindo 10 pontos (Figura 5.1.6 e tabela 5.1.4), contemplou a amostragem de água de superfície, meia-água e fundo para a determinação dos contaminantes inorgânicos e orgânicos previstos na Conama 357/05, para a classe 2 das águas salobras. A amostragem foi efetuada com auxílio de garrafa de Niskin e as subamostras para as análises químicas, rapidamente transferidas para os frascos adequados, contendo soluções fixadoras. No mesmo dia da coleta, as amostras para as análises de Cobre dissolvido e Cloro residual, em virtude das suas especificidades, foram enviadas por via aérea e, as demais, encaminhadas via rodoviária para a CORPLAB-Brasil. As amostras foram analisadas, no referido laboratório, para Cianetos (método EPA 335.2), Cloro residual (método EPA 330.5), Cobre dissolvido (método EPA 6010b), mercúrio total (método EPA 7470), Arsênio, Cádmio, Chumbo, Cromo, Níquel, Selênio e Zinco (métodos EPA 3005A/6010). As



análises dos pesticidas organoclorados e PCP foram realizadas conforme os métodos EPA 3510/8081/8270.

**Tabela 5.1.4: Coordenadas geográficas, em UTM, dos 10 pontos amostrais da qualidade da água do estuário na ADA e AID (campanha de março de 2007).**

Ponto	Latitude (m)	Longitude (m)
1	764281.65	7172181.48
2	764514.74	7171961.31
3	764673.95	7171819.58
4	764858.86	7171424.84
5	765010.89	7171625.06
6	764791.59	7171835.72
7	764577.63	7172033.96
8	763997.68	7172371.85
9	764194.52	7172719.00
10	765089.07	7171623.50

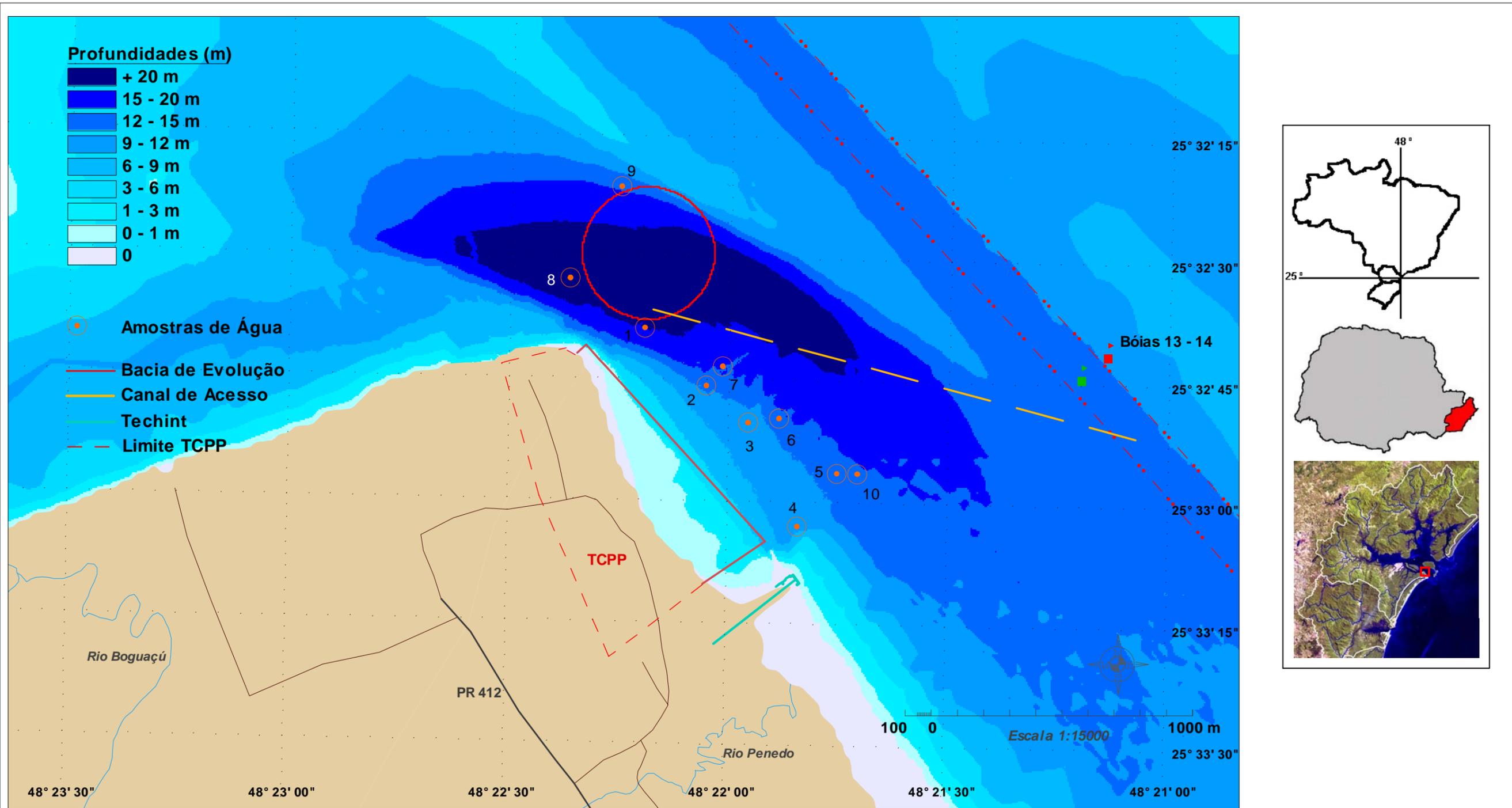
#### 5.1.1.6. Oceanografia e hidrodinâmica costeira

Os dados para a caracterização física da dinâmica das águas estuarinas e costeiras foram tomados do banco de dados oceanográficos do Centro de Estudos do Mar – CEM da Universidade Federal do Paraná mantido pelo Grupo de Física Marinha.

Os dados de maré foram obtidos dos marégrafos instalados de forma permanente (Paranaguá, Antonina, Ilha do Mel) e mantidos pela Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina - APPA e outros instalados de forma esporádica em outros pontos do complexo estuarino (Pontal do Sul, Guaraqueçaba etc.). Os registros dos marégrafos permanentes são do tipo contínuo em papel e estão referidos aos níveis de redução locais. Estes registros analógicos são digitalizados a cada 30 minutos, produzindo-se assim os arquivos digitais do nível do mar que, dependendo do local, estendem-se por vários anos. Já os registros digitais esporádicos são obtidos com marégrafos digitais do tipo Aanderaa, em intervalos entre 5 e 30 minutos por períodos de pelo menos um mês e até quatro meses. Estes dados são referidos ao nível médio do mar no local.

Os dados de correntes foram obtidos por diferentes métodos e, ao serem integrados para a área de estudo, permitiram a elaboração dos mapas de correntes apresentados. Para a obtenção dos dados, métodos Lagrangianos e Eulerianos são utilizados (acompanhando uma parcela de água ou em pontos fixos no espaço, ao longo do tempo). Num caso, elementos de marcação (garrafas de deriva, tintas especiais - rodamina) são lançados no mar e o seu movimento acompanhado ao longo do tempo. Assim, parte das informações utilizadas corresponde ao lançamento de 4 000 garrafas de deriva no canal da Galheta e no canal Norte, com taxa de recuperação superior a 30 %, e de observações realizadas com rodamina na área de despejo do banco dos Ciganos.





 <p>AMB Planejamento Ambiental e Biotecnologia Ltda</p>	<p>Pontal do Paraná Importação e Exportação Ltda</p>	
<p>Coordenador Geral Rodolfo José Angulo</p>	<p>Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental para o Terminal de Contêineres de Pontal do Paraná</p>	
<p>Geoprocessamento Maria Cristina de Souza Maurício Almeida Noemberg</p>	<p>Figura 5.1.6: Mapa de localização dos 10 pontos amostrais da segunda campanha de coleta de água no estuário</p>	<p>Data jun/2007</p> <p>Escala 1:15.000</p>

Ao contrário destes métodos que fornecem a direção das correntes e do transporte em forma qualitativa, métodos quantitativos foram intensivamente usados na construção das cartas de correntes. Para tal, foram empregados correntômetros digitais tradicionais Sensordata SD6000, correntômetros eletromagnéticos Interocean S4 e correntômetros de efeito Doppler ADP Sontek. No caso dos dois primeiros, as medições foram realizadas em fundeios, na maioria das oportunidades quando os equipamentos ficam amarrados a um peso no fundo realizando as observações de intensidade e direção das correntes em intervalos regulares entre 5, 30 ou 60 minutos. Os equipamentos foram igualmente utilizados para perfilagens verticais, quando os correntômetros são descidos desde uma embarcação ancorada, da superfície ao fundo, em intervalos de 30 minutos até duas horas, por pelo menos um ciclo de maré (12,40 h para a área de estudo).

As medições com o uso de correntômetros ADP foram feitas com o equipamento fixo numa embarcação em movimento. O equipamento emite um feixe acústico que, no seu retorno (eco) é modificado pelas correntes pelo efeito Doppler, o que permite estabelecer as intensidades e direções com referência ao fundo. Travessias a cada uma ou duas horas dos canais com este equipamento, durante pelo menos um ciclo completo de maré, fornecem “fotografias” das correntes na seção amostrada.

Finalmente, informações sobre temperatura, salinidade, turbidez e outros parâmetros oceanográficos foram obtidas ou por instrumentos autônomos (CTDs SensorData SD200) ou por sensores adicionais anexados aos correntômetros (IOS S4, SD6000, etc.). Quando devidamente equipados, os correntômetros IOS S4 podem funcionar como ondógrafos, para o que devem ser instalados em fundeios, como feito na área da boca da baía de Paranaguá. Também, dados de ondas foram obtidos na estação da Ilha do Mel com ondógrafo Falmouth de efeito Doppler.

#### 5.1.1.7. Assoreamento, necessidade de dragagem de aprofundamento e previsão de dragagens de manutenção

##### 5.1.1.7.1. Caracterização da qualidade dos sedimentos superficiais na AID

A caracterização da qualidade dos sedimentos superficiais na área de influência direta (eixo leste-oeste do complexo estuarino de Paranaguá) do empreendimento foi estabelecida a partir de dados pretéritos. O quadro 5.1.2 apresenta um sumário do planejamento amostral, regiões estudadas e metodologias utilizadas para a coleta e análises dos sedimentos superficiais nos estudos pretéritos utilizados para a caracterização deste compartimento.

##### 5.1.1.7.2. Caracterização da qualidade dos sedimentos superficiais na área diretamente afetada pelo empreendimento

Visto que as eventuais operações de dragagem, a serem realizadas pelo TCPP, podem causar a liberação de contaminantes estocados nos sedimentos e, em atendimento à Resolução Conama 344/04 conforme previsto no TR do EIA-RIMA, foi feita a caracterização dos sedimentos superficiais a serem dragados na área diretamente afetada (ADA) pela dragagem.



**Quadro 5.1.2: Sumário das metodologias de amostragem e análises utilizadas nos estudos pretéritos utilizados na caracterização da qualidade dos sedimentos do eixo leste-oeste do complexo estuarino de Paranaguá:**

Área	Número de pontos de coleta	Datas das campanhas de amostragem	Método de coleta de sedimentos	Variáveis investigadas/métodos analíticos
Canal da Galheta e Baía de Evolução do Porto de Paranaguá.	Pré-dragagem: 15 pontos Pós-dragagem: 8 pontos.	Pré-dragagem: - 07/05/1998 Pós-dragagem: 20/10/1998; 08 e 09/03/1999.	Testemunhos de sedimentos coletados por mergulhador autônomo, com auxílio de tubos de PVC (5 cm de diâmetro e 50 cm de altura).	Elementos traço (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Ni, Hg, Sn), óleos e graxas e organoclorados/ métodos descritos por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1995).
Região Mediana (cais da FOSPAR) e Iguapicu (Baía das Laranjeiras).	11 pontos nas cercanias da FOSPAR e 1 ponto controle situado na Baía das Laranjeiras.	Pré-dragagem 01/2000 Dragagem 03/2000 Pós-dragagem: 10/2000 Monitoramento: 01/2001; 05/2001; 08/2001; 11/2001.	Por mergulho autônomo, com auxílio de sacos de polietileno e/ou com pegador de fundo do tipo "petit ponar".	Elementos traços (Cu, As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb e Zn), por espectrometria de absorção atômica, óleos e graxas, por gravimetria/conforme as metodologias descritas em Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1995). Nitrogênio e fósforo totais/ método descrito em Grasshoff et al. (1983).
Ponta do Félix e canal de acesso aos TPPF.	9 pontos dispostos em 3 transectos.	Pré-dragagem: 05/2001; Durante: 08 e 11/2001; Pós-dragagem: 02/2002.	Pegador de fundo do tipo "petit ponar".	Elementos traço (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni e Hg) em todas as amostras/ espectrometria de absorção atômica; óleos e graxas por gravimetria e organoclorados apenas nos pontos 4, 5 e 6, metodologias descritas em Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1995), Nitrogênio e fósforo totais/ método descrito em Grasshoff et al. (1983).

Considerando que o volume médio estimado a ser dragado para a implantação dos três berços será de 1 472 592 m<sup>3</sup>, a qualidade dos sedimentos na área de dragagem deveria ser investigada em um número mínimo de 16 a 20 pontos de acordo com a Resolução Conama 344/04. Para atender a resolução, estabeleceu-se uma malha amostral de 20 pontos para a caracterização dos sedimentos na ADA. É importante ressaltar que os 20 pontos foram distribuídos em pequenos transectos estabelecidos em conjunto pelos pesquisadores das áreas geológica, geoquímica e biológica, formando uma nuvem cobrindo a área que é de fato diretamente afetada pela dragagem, pois os movimentos da draga, o trabalho "fino" de dragagem feito nas bordas dos berços (aparando as arestas) e os despejos temporários, seguidos da coleta dos mesmos (testemunhado por alguns dos pesquisadores por ocasião de uma vistoria da atividade de dragagem e de despejo pela draga Copacabana em 2004), afetam um polígono um pouco maior do que aquele tecnicamente definido (de tamanho extremamente reduzido) para a dragagem. A coleta dos sedimentos superficiais nos pontos pré-estabelecidos foi realizada no dia 13 de fevereiro de 2007 (Figura 5.1.2 e tabela 5.1.2). Todas as amostragens foram realizadas com o auxílio de um amostrador busca fundo do tipo *Petit Ponar*.

Handwritten signatures and initials on the right margin of the page.

Estudos pretéritos evidenciaram a necessidade de realizar as análises dos contaminantes orgânicos e elementos traço, exigidos pela Resolução Conama 344/04, em laboratórios de reconhecida experiência na análise de tais contaminantes em sedimentos marinhos e, principalmente, que disponham de padrões internacionais certificados para sedimentos estuarinos/marinhos.

Para as análises de contaminantes orgânicos nos sedimentos foi escolhido o Laboratório de Química Orgânica Marinha (LABQOM) do instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO/USP). A análise de elementos traço foi realizada no laboratório privado CORPLAB, situado em São Paulo.

Ambos os laboratórios possuem perfis adequados e satisfazem as exigências de qualidade analítica preconizadas pela Resolução Conama 344/04.

A qualidade do laboratório executor das análises dos contaminantes orgânicos pode ser comprovada através de certificados internacionais de proficiência analítica emitidos anualmente desde a década de 90, quando o LABQOM passou a fazer parte do grupo de laboratórios participantes dos exercícios de intercalibração analítica promovidos pela MEL/IAEA (*Marine Environmental Laboratory of International Atomic Energy Agency*), certificando o LABQOM para análises de HPAs e compostos organoclorados em amostras ambientais de sedimentos e organismos.

A CORPLAB, responsável pela análise de metais traço, é uma empresa de assessoria ambiental com laboratórios distribuídos em diferentes países da América Latina. Apresenta as certificações ISO 9001, 14001 e 17250, o que garante confiabilidade em relação os dados gerados ([http://www.corplab.net/brasilcert\\_br.htm#](http://www.corplab.net/brasilcert_br.htm#)).

### **5.1.1.7.2.1. Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), pesticidas organoclorados e PCBs**

As 20 amostras de sedimentos superficiais foram recebidas pelo Laboratório de Química Orgânica Marinha (LABQOM) da USP em 16 de março de 2007, e foram analisadas quanto á presença de compostos organoclorados (pesticidas clorados e bifenilas policloradas - PCBs) e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs). Os sedimentos foram processados conforme metodologia preconizada em UNEP (1992) e Martins (2005). Aproximadamente 100 g dos sedimentos foram secos em um liofilizador, sendo posteriormente desagregado utilizando almofariz e pistilo de porcelana, homogeneizado e armazenado. Durante as análises, aproximadamente 25 g de sedimento seco recebeu 100 µl de uma mistura de padrões internos (*surrogates*), sendo posteriormente extraído em aparato Soxhlet durante oito horas com 80 ml de n-hexano e diclorometano (1:1). Os extratos foram concentrados a 1 ml em evaporador rotatório e submetidos à purificação por cromatografia de adsorção em coluna de alumina, com eluição 15 ml de uma mistura 30 % diclometano em hexano. Em seguida, o extrato resultante foi concentrado a 1 ml.

Os HPAs foram analisados pela injeção de 1 µl da amostra em um cromatografo a gás (Agilent GC System 6890 Series) acoplado a um espectrômetro de massa (GC-MS Agilent Mass Selective Detector 5973 Network). A coluna capilar utilizada possuía as seguintes características: Agilent Ultra 2 com fase estacionária de 5 % fenil-metil-



siloxano, 50 m de comprimento, 0,32 mm de diâmetro interno e 0,25 µm de espessura do filme.

A rampa da temperatura foi a seguinte: 40°C por um minuto; 20°C/min até 60°; 5°C/min até 290°C; 10°C/min até 300°C, e; isotérmico por 10 min. A temperatura do injetor foi mantida a 280°C no modo splitless (fluxo do splitt 50:1 após um minuto). A linha de transferência foi mantida a 250°C e a fonte do detector a 200°C com energia de 70 ev. Foi utilizado He como gás carreador em um fluxo de 1,5 ml.min<sup>-1</sup>.

A análise foi feita no modo SIM (*System Ion Monitoring*), sendo registrados apenas os picos relacionados aos dois principais fragmentos (m/z), característicos de cada um dos compostos analisados. Os HPAs foram quantificados através da injeção de soluções de padrões externos, de massas conhecidas. Os picos obtidos no GC/MS foram integrados por um sistema de aquisição de dados (*HP Enhanced Chemstation G1701 CA*), determinando o fator de resposta, os tempos de retenção e a curva de calibração através do método de cálculo por padronização interna utilizando-se os padrões deuterados naftaleno-d<sub>8</sub>, acenafteno-d<sub>10</sub>, fenantreno-d<sub>10</sub>, criseno-d<sub>12</sub> e perileno-d<sub>12</sub>. A recuperação da metodologia foi avaliada utilizando o 9,10-dihidroantraceno (9,10-DHA) como padrão cromatográfico e o desempenho analítico através da análise de matrizes fortificadas com padrões, exercícios de intercalibração e brancos analíticos.

As amostras de sedimento foram analisadas para benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, criseno, dibenzo(a,h)antraceno, acenaftileno, acenafteno, antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, 2-metilnaftaleno, naftaleno e pireno em sua fração total.

Os PCBs e pesticidas organoclorados foram identificados e quantificados em um cromatografo a gás da Agilent Technologies 6890N equipado com detector de captura de elétrons <sup>63</sup>Ni (GC-ECD) e injetor automático. Foi utilizada uma coluna cromatográfica capilar da Agilent Technologies HP-5MS (5% difenil-95% dimetilpolisiloxana) de 30 m, 0,25 mm de diâmetro interno e 0,50 µm de espessura de filme. A injeção de 1 µl do extrato da amostra foi sem divisão de fluxo (*splitless*). A programação de temperatura do forno teve início em 100°C (1 min.) com aumento à taxa de 5°C min<sup>-1</sup> até 140°C (1 min.), aumentando a 1,5°C.min<sup>-1</sup> até 250°C (1 min.) e 10°C.min<sup>-1</sup> até 300°C permanecendo isotérmico por 5 min. A temperatura do injetor foi mantida a 300°C e do detector a 320°C. Hidrogênio e nitrogênio foram utilizados como gás de arraste (pressão constante de 13,2 psi) e gás de make-up (30 mL.min<sup>-1</sup>), respectivamente.

As amostras de sedimento superficial foram analisadas para α-HCH (BHC), β-HCH (BHC), γ-HCH (BHC), δ-HCH (BHC), DDT (somatório dos isômeros p,p'- e o,p-), DDE (somatório dos isômeros p,p'- e o,p-), DDD (somatório dos isômeros p,p'- e o,p-), dieldrin, endrin, α-clordano, γ-clordano e o somatório de 44 congêneres de PCBs em sua fração total. A identificação dos pesticidas clorados e PCBs analisados foi baseada nos tempos de retenção de padrões autênticos.

A quantificação foi realizada contra padrões externos através das curvas analíticas de cada analito e método de cálculo por padronização interna utilizando-se os padrões



2,4,5,6-tetracloro-m-xileno (TCMX) e PCB 209. A recuperação da metodologia foi avaliada utilizando os PCBs 30 e 103 como padrões *surrogate* e o desempenho analítico através da análise de materiais de referência certificados e brancos analíticos. A confirmação de alguns compostos encontrados foi feita empregando em um cromatografo a gás (Agilent GC System 6890 Series) acoplado a um espectrômetro de massa (GC-MS Agilent Mass Selective Detector 5973 Network) (Anexo 5.1-III).

#### 5.1.1.7.2.2. Elementos traço nos sedimentos superficiais (metais pesados e Arsênio)

Para as análises dos elementos traço foi utilizado a fração total dos sedimentos como recomendado pela Resolução Conama 344/04. Os sedimentos foram secos em estufa a 80°C (exceto para Mercúrio), sendo então pulverizados em graal de ágata. As análises dos elementos metálicos Zinco, Chumbo, Níquel, Cromo e Cádmio, foram efetuados por digestão com água régia (HCl + HNO<sub>3</sub>) a quente em recipientes de teflon. As análises de Arsênio foram realizadas através do método de geração de hidretos, e o Mercúrio foi dosado por Vapor a Frio. As dosagens da concentração dos elementos metálicos foram efetuadas segundo os procedimentos tradicionais de Espectrofotometria de Absorção Atômica com a utilização de um aparelho BCG de modelo 932 AA. Para as dosagens de Arsênio (As) foi utilizado um sistema de gerador de hidretos (HG 5000) acoplado ao espectrofotômetro (Anexo 5.1-III).

#### 5.1.1.7.2.3. Carbono orgânico e Fósforo totais

O teor de Carbono orgânico total (COT) foi determinado de acordo com o método de oxidação em via úmida segundo Strickland & Parsons (1972). As concentrações de Fósforo total foram determinadas através da oxidação com persulfato, conforme descrito por Grasshoff *et al.* (1983) (Anexo 5.1-III).

#### 5.1.1.8. Modelagem

O principal objetivo desse estudo é identificar o padrão hidrodinâmico e de transporte de sedimento na região diretamente afetada pela implantação do Terminal de contêineres de Pontal do Paraná. Para se identificar o comportamento hidrodinâmico na região, foram utilizados dados primários e históricos de correntes, bem como a utilização de modelagem numérica e de transporte de sedimento. Nessa seção, é apresentada a metodologia empregada na implementação do modelo numérico ECOMSED, utilizado nesse trabalho.

##### 5.1.1.8.1. Descrição do Modelo ECOMSED

ECOMSED é um código computacional tridimensional da hidrodinâmica e transporte de sedimentos desenvolvido pela HydroQual para aplicação em sistemas marinhos e de água doce. Os componentes do modelo são desenhados para executar em conjunto com outros, de forma que a saída de um modelo é diretamente relacionada aos outros modelos. Os modelos compartilham a mesma estrutura de grid numérico e técnicas de solução numérica.

O desenvolvimento do ECOMSED tem suas origens na década de 1980, com a criação do Princeton Ocean Model (POM), que foi seguido por uma versão de atualização denominada ECOM para ambientes de águas rasas, como rios, lagos, estuários e



costas oceânicas. Na década de 1990, conceitos de ressuspensão e assentamento de sedimentos desenvolvidos por W. Lick, da Universidade da Califórnia, foram incorporados à estrutura do ECOM.

### 5.1.1.8.2. Módulo hidrodinâmico

#### 5.1.1.8.2.1. Introdução

O módulo hidrodinâmico do ECOMSED pertence à classe de modelos onde o realismo é um objetivo importante em mesoescala, caracterizada por um comprimento de 1 a 100 km e marés na escala de tempo de 30 dias, comumente observadas em estuários e costas oceânicas (Beardsley & Boicourt 1981). O módulo é um modelo tridimensional da costa oceânica, incorporando um modelo de turbulência para fornecer a parametrização realística dos processos de mistura vertical. As variáveis prognósticas são os três componentes da velocidade, temperatura, salinidade, energia cinética da turbulência e a macroescala da turbulência. As equações de *momentum* são não-lineares e incorporam a variável do parâmetro de Coriolis. As equações de prognóstico governando as quantidades termodinâmicas, temperatura e salinidade levam em conta as variações da massa de água provocadas pelos processos de subida e descida do nível do mar na costa, altamente dependente do tempo, assim como os processos advectivos horizontais. A superfície livre de elevação é também calculada prognosticamente, com algum sacrifício do tempo computacional para que as ondas e eventos de tempestades possam também ser simulados. Isto é alcançado pelo uso de uma técnica de divisão onde o transporte do volume e a velocidade do atrito vertical são resolvidos separadamente. Outras variáveis computacionais incluem a densidade, a viscosidade turbulenta vertical e a difusividade turbulenta vertical. O módulo também acomoda realisticamente a geometria da linha da costa e a topografia do fundo.

O módulo hidrodinâmico, ECOM, aqui descrito é um modelo tridimensional, dependente do tempo, desenvolvido por Blumberg & Mellor (1983, 1987). Este módulo do ECOMSED tem uma longa história de aplicações de sucesso em águas oceânicas, de costa e estuarinas.

#### 5.1.1.8.2.2. Equações

##### Equações de dinâmica e termodinâmica

As equações que formam a base do modelo de circulação descrevem os campos de velocidade e de elevação da superfície, e os campos de temperatura e de salinidade. Duas aproximações de simplificação são utilizadas (Bryan 1969); primeiro, assume-se que o peso do fluido equilibra idênticamente a pressão (hipótese hidrostática), e segundo, as diferenças de densidade são desprezadas a menos que as diferenças sejam multiplicadas pela gravidade (aproximação de Boussinesq).

Considere as coordenadas de um sistema ortogonal Cartesiano, com  $x$  aumentando na direção Leste,  $y$  aumentando na direção Norte, e  $z$  aumentando verticalmente para cima. A superfície livre é localizada em  $z = \eta(x, y, t)$  e o fundo está em  $z = -H(x, y)$ . Se  $\bar{V}$  é o vetor horizontal da velocidade, com componentes  $(U, V)$  e  $\nabla$  é o operador do gradiente horizontal, a equação de continuidade é:



$$\nabla \bar{V} + \frac{\partial W}{\partial Z} = 0 \quad (1)$$

As equações de momento de Reynolds são:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \bar{V} \nabla U + W \frac{\partial U}{\partial z} - fV = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial U}{\partial z} \right) + F_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \bar{V} \nabla V + W \frac{\partial V}{\partial z} - fU = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial U}{\partial z} \right) + F_y \quad (3)$$

$$\rho g = -\frac{\partial P}{\partial z} \quad (4)$$

onde  $\rho_0$  é a densidade de referência,  $\rho$  a densidade local,  $g$  a aceleração da gravidade,  $P$  a pressão e  $K_M$  a difusividade turbulenta do momento de mistura turbulento. A variação latitudinal do parâmetro de Coriolis,  $f$ , é introduzida pelo uso da aproximação do plano  $\beta$ .

A pressão à profundidade  $z$  pode ser obtida pela integração do componente vertical da equação de movimento (eq. 3), de  $z$  até a superfície livre  $\eta$ , e é

$$P(x, y, z, t) = P_{atm} + g\rho_0\eta + g \int_z^0 \rho(x, y, z', t) dz' \quad (5)$$

A partir de agora, assume-se que a pressão atmosférica,  $P_{atm}$ , seja constante.

As equações de conservação para temperatura e salinidade podem ser escritas como

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \bar{V} \Delta \theta + W \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_H \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + F_\theta \quad (6)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \bar{V} \Delta S + W \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_H \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_S \quad (7)$$

onde  $\theta$  é a temperatura potencial (ou a temperatura local para aplicações de águas rasas), e  $S$  é a salinidade. A difusividade para a mistura turbulenta vertical de calor e sais é denominada  $K_H$ . Utilizando a temperatura e salinidade, a densidade é computada de acordo com uma equação de estado do tipo

$$\rho = \rho(\theta, S)$$

apresentada por Fofonoff (1962). A densidade potencial é  $\rho$ , ou seja, a densidade avaliada como uma função da temperatura potencial e da salinidade, mas à pressão atmosférica; fornece uma informação acurada da densidade para calcular gradientes baroclínicos horizontais, que entram nos termos de gradiente de pressão e de estabilidade vertical da coluna de água, que participam do módulo de fechamento da turbulência mesmo em águas profundas, quando os efeitos da pressão tornam-se importantes.

Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like 'H. Yang', 'R. S.', and others.

Todos os movimentos induzidos por processos de pequena escala não diretamente resolvidos pelo grid do modelo (escala de subgrid) é parametrizado em termos de processos de mistura horizontal. Os termos  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_\theta$ , e  $F_s$  encontrados nas equações 2, 3, 6 e 7 representam estes processos não resolvidos, e em analogia à difusão molecular podem ser escritos como

$$F_x = \frac{\partial}{\partial x} \left( 2A_M \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[ A_M \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \quad (9a)$$

$$F_y = \frac{\partial}{\partial x} \left( 2A_M \frac{\partial V}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[ A_M \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \quad (9b)$$

e

$$F_{\theta,s} = \frac{\partial}{\partial x} \left( A_H \frac{\partial(\theta,S)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( A_H \frac{\partial(\theta,S)}{\partial y} \right) \quad (10)$$

Deve-se observar que  $F_x$  e  $F_y$  são constantes com a rotação de coordenadas. Enquanto estes termos de difusividade horizontal servem para parametrizar os processos de escala de subgrid, na prática as difusividades horizontais, são normalmente necessários para amortecer ruídos computacionais de pequena escala. A forma de  $F_x$ ,  $F_y$ , e  $F_{\theta,s}$ , permitem a utilização de  $A_M$  e  $A_H$  variáveis, mas até o momento elas são mantidas constantes. As difusividades são escolhidas a fim de que elas não produzam uma suavização excessiva das características reais. Valores tão baixos quanto  $10 \text{ m}^2/\text{s}$  têm sido utilizados com sucesso em várias aplicações. A resolução vertical relativamente fina utilizada na aplicação resulta em uma reduzida necessidade de difusão horizontal, pois, a advecção horizontal seguida pela mistura vertical efetiva atua como a difusão horizontal no sentido físico real.

### Fechamento da turbulência

As equações que governam contêm a parametrização de Reynolds para os termos de fluxo e atrito, que levam em conta a difusão turbulenta de momentum, calor e sais. A parametrização da turbulência no módulo aqui descrito é baseada no trabalho de Mellor & Yamada (1982).

Os coeficientes de mistura vertical,  $K_M$  e  $K_H$ , nas equações 2, 3, 6 e 7 são obtidos recorrendo à segunda ordem do fechamento da turbulência (Mellor & Blumberg 1985), que caracteriza a turbulência por equações de energia cinética turbulenta,  $q^2/2$ , e a macroescala da turbulência,  $l$ , de acordo com

$$\frac{\partial q^2}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla q^2 + W \frac{\partial q^2}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_q \frac{\partial q^2}{\partial z} \right) + 2 K_M \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{2g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{2q^3}{B_1 l} + F_q \quad (11)$$

*[Handwritten signatures and initials on the right margin]*

e

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(q^2 l)}{\partial t} + \vec{V} \nabla(q^2 l) + W \frac{\partial(q^2 l)}{\partial z} \\ &= \frac{\partial}{\partial z} \left( K_q \frac{\partial(q^2 l)}{\partial z} \right) + l E_l K_M \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] \\ &+ \frac{l E_l g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{q^3}{B_l} \tilde{W} + F_l \end{aligned} \quad (12)$$

onde  $\nabla$  é o operador do gradiente horizontal e a função de proximidade da parede é definida como

$$\tilde{W} \equiv 1 + E_2 \left( \frac{l}{\kappa L} \right)^2 \quad (13)$$

e onde

$$(L)^{-1} \equiv (\eta - z)^{-1} + (H + z)^{-1} \quad (14)$$

Próximo a superfícies, pode-se demonstrar que tanto  $l/\kappa$  quanto  $L$  são iguais à distância até a superfície ( $\kappa = 0,4$  é a constante de von Karman), de forma que  $\tilde{W} = 1 + E_2$ . Distante de superfícies, onde  $l \ll L$ ,  $\tilde{W} \cong 1$ . O comprimento de escala fornecido na equação 12 é o comprimento característico do movimento turbulento em qualquer ponto no tempo ou espaço. Uma alternativa à equação 12 é utilizar a equação de transporte para taxa de dissipação (Hanjalic & Launder 1976). A aproximação anterior, de acordo com Mellor & Yamada (1982) é mais consistente, já que usa uma equação que descreve a turbulência de grande escala para determinar a macroescala turbulenta. Os termos  $F_q$  e  $F_l$  nas equações 11 e 12 são a mistura horizontal e são parametrizadas analogamente à temperatura e salinidade, usando a equação 9.

É possível reduzir a instrução dos coeficientes  $K_M$ ,  $K_H$ , e  $K_q$  às seguintes expressões

$$K_M \equiv l q S_M \quad (15a)$$

$$K_H \equiv l q S_H \quad (15b)$$

$$K_q \equiv l q S_q \quad (15c)$$

As funções de estabilidade  $S_M$ ,  $S_H$ , e  $S_q$  são derivadas analiticamente, com relações funcionais dependentes de  $\partial U/\partial z$ ,  $\partial V/\partial z$ ,  $g \rho_0^{-1} \partial \rho/\partial z$ ,  $q$ , e  $l$ . Estas relações derivam das hipóteses de fechamento descritas por Mellor (1973) e resumidas por Mellor & Yamada (1982). Segundo Galperin *et al.* (1988) as funções de estabilidade são

$$S_M = \frac{B_l^{1/3} - 3 A_l A_2 G_H \left[ (B_2 - 3 A_2) \left( 1 - \frac{6 A_l}{B_l} \right) - 3 C_l (B_2 + 6 A_l) \right]}{\left[ 1 - 3 A_2 G_H (B_2 + 6 A_l) \right] (1 - 9 A_l A_2 G_H)} \quad (16)$$

### 5.1.1.8.3. Módulo de transporte de sedimentos

#### 5.1.1.8.3.1. Introdução

O módulo SED é um modelo de transporte de sedimentos tridimensional, que simula realisticamente os sedimentos em uma variedade de sistemas aquáticos, e quando incorporado ao modelo ECOM, criou-se o ECOMSED. O ECOMSED tem sido utilizado em uma série de estudos de transporte de sedimentos.

Este módulo é configurado para rodar conjuntamente ao modelo hidrodinâmico e ao modelo de ondas (se este for incluído). Utiliza o mesmo *grid* numérico, estrutura e formatos computacionais do modelo hidrodinâmico, e a dinâmica dos sedimentos inclui ressuspensão, transporte e deposição dos sedimentos, tanto de granulometria mais finas (diâmetro menor que 75 µm) quanto mais grosseiras (diâmetro entre 75 e 500 µm), aqui denominadas coesivos e não coesivos respectivamente. Areia grossa e pedriscos, com diâmetros de partículas maiores que 500 µm.

Assim como o mecanismo de ressuspensão, o mecanismo de deposição depende do atrito de fundo induzido pela interface sedimento-água. O cálculo do atrito de fundo é parte integrante dos processos de sedimento. O fluxo de massa formado pela ressuspensão tanto das partículas finas quanto das mais grosseiras, é modelado em função de agregação e assentamento. Uma característica única do modelo é sua capacidade de utilizar resultados experimentais para descrever os parâmetros na formulação da ressuspensão e deposição.

A saída do módulo SED inclui a distribuição espacial e temporal dos sólidos totais, concentração de sedimentos na coluna de água, massa de sedimentos depositados/erodidos e subseqüente variação na elevação do fundo.

#### 5.1.1.8.3.2. Equações

A equação de advecção-dispersão tridimensional para o transporte dos sedimentos de tamanho classe  $k$  ( $k=1,2$ ) é:

$$\frac{\partial C_k}{\partial t} + \frac{\partial UC_k}{\partial x} + \frac{\partial VC_k}{\partial y} + \frac{\partial (W - W_{s,k})C_k}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( A_H \frac{\partial C_k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( A_H \frac{\partial C_k}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_H \frac{\partial C_k}{\partial z} \right)$$

Condições de contorno:

$$K_H \frac{\partial C_k}{\partial z} = 0, z \rightarrow \eta$$

$$K_H \frac{\partial C_k}{\partial z} = E_k - D_k, z \rightarrow -H$$

onde,

$C_k$  = concentração de sedimentos de tamanho classe  $k$ ;  $u, v, w$  = velocidade nas direções  $x, y, z$ ;  $A_H$  = difusividade horizontal;  $K_H$  = difusividade turbulenta vertical;  $E_k$ ,



$D_k$  = fluxo de ressuspensão e deposição de tamanho classe  $k$ ;  $\eta$  = elevação da superfície da água acima de um valor específico; e  $H$  = profundidade batimétrica abaixo do valor específico.

#### 5.1.1.8.3.3. Cálculos do atrito de fundo

O atrito de fundo é calculado da seguinte forma:

$$\tau = \rho u_*^2$$

onde  $\rho$  = densidade do meio de suspensão; e  $u_*$  = velocidade de atrito.

Somente para correntes, a velocidade de atrito é definida pelo perfil logarítmico de velocidade de Prandtl-von Kármán:

$$u_*^2 = \frac{k u}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

onde  $k$  = constante de von Karman  $\approx 0,40$ ;  $u$  = velocidade resultante próximo ao fundo;  $z$  = profundidade no centro da camada inferior;  $z_0$  = atrito de base especificado como entrada no modelo.

#### 5.1.1.8.3.4. Ressuspensão de sedimentos finos

Estudos de campo e laboratório revelam que somente uma quantidade finita de sedimentos pode ser ressuspensa de um fundo com partículas finas exposto a um constante atrito de fundo. A quantidade de sedimentos finos ressuspensos é dada por:

$$\varepsilon = \frac{a_0}{T_d^m} \left( \frac{\tau_b - \tau_c}{\tau_c} \right)^n$$

onde  $\varepsilon$  = potencial de ressuspensão ( $\text{mg cm}^{-2}$ );  $a_0$  = constante dependente das propriedades do fundo;  $T_d$  = tempo após a deposição (dias);  $\tau_b$  = atrito de fundo ( $\text{dinas cm}^{-2}$ );  $\tau_c$  = valor crítico do atrito para a erosão ( $\text{dinas cm}^{-2}$ ); e  $m, n$  = constantes dependentes do ambiente de deposição.

Resultados experimentais mostram que a quantidade total do fluxo de sedimentos para a coluna de água não é ressuspensa instantaneamente, mas durante um período de tempo de aproximadamente uma hora. A taxa de ressuspensão é dada por:

$$E_{\text{tot}} = \frac{\varepsilon}{3600 \text{ seg}}$$

onde assume-se  $E_{\text{tot}}$  como constante até que todo o sedimento seja erodido. Uma vez a quantidade  $\varepsilon$  de sedimentos esteja em suspensão,  $E_{\text{tot}}$  é zerado até que mais sedimento seja depositado e disponível para ressuspensão ou até que o atrito de fundo aumente. A taxa de ressuspensão de sedimentos de classe  $k$  ( $E_k$ ) é dada por:

$$E_k = f_k E_{\text{tot}}$$

Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like 'H. Yang', 'R. S.', and others.

onde  $f_k$  = fração de sedimentos classe k no fundo.

#### 5.1.1.8.3.5. Deposição de sedimentos finos

A natureza coesiva das partículas finas em suspensão provoca a formação de agregados de partículas, que variam de tamanho e em velocidade de assentamento. No SED, a taxa de deposição dos sedimentos finos depende diretamente do fluxo de sedimentos próximos ao fundo e à probabilidade de coesão dos agregados com o fundo, de acordo com a seguinte formulação:

$$D_1 = -W_{s,1} C_1 P_1$$

onde  $D_1$  = fluxo de deposição ( $g\ cm^{-2}\ s^{-1}$ );  $W_{s,1}$  = velocidade de assentamento dos flocos de sedimentos ( $cm\ s^{-1}$ );  $C_1$  = concentração de sedimentos finos em suspensão ( $g\ cm^{-3}$ ) próximo à interface sedimento-água; e  $P_1$  = probabilidade de deposição.

Resultados de diversas medições de concentração e atrito de fundo indicam que a seguinte relação pode ser utilizada:

$$W_{s,1} = \alpha (C_1 G)^\beta$$

onde  $W_{s,1}$ ,  $C_1$ , e  $G$  são expressos em  $m\ dia^{-1}$ ,  $mg\ L^{-1}$  e  $dinas\ cm^{-2}$  respectivamente. Esta equação incorpora implicitamente o efeito do atrito interno ( $G$ ) na agregação e assentamento, que é calculado a partir da saída do modelo hidrodinâmico, como se segue:

$$G = \rho K_M \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right]^{1/2}$$

onde  $K_M$  = viscosidade turbulenta vertical; e  $\rho$  = densidade do meio.

A probabilidade de deposição ( $P_1$ ) parametriza os efeitos da heterogeneidade de tamanhos de agregados e da turbulência próxima ao fundo na taxa de deposição:

$$P_1 = 1 - \frac{\tau_b}{\tau_d}, \tau_b \leq \tau_d$$

ou

$$P_1 = 0, \tau_b > \tau_d$$

#### 5.1.1.8.3.6. Modelo de sedimento de fundo coesivo

Para simular realisticamente os efeitos seqüenciais de deposição e erosão, e a troca subsequente em propriedades do leito como a deposição e erosão, o modelo vertical segmentado de sedimento de fundo coesivo é construído através da discretização do leito de sedimento em sete camadas.

Cada camada do leito é caracterizada por uma densidade seca ( $\rho_d$ ), um atrito de fundo para erosão ( $\tau_{cr}$ ), e uma espessura inicial. O tempo de deposição para cada camada aumenta linearmente para a superfície, que está composto do depósito recente de

Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like 'H. Yang', 'R.S.', 'Muller', 'Chapman', and others.

material. Resultados de laboratórios prévios (Tsai & Lick 1987, MacIntyre *et al.* 1990) indicaram que o efeito de ressuspensão é mínimo depois de sete dias de deposição. A equação de potencial de ressuspensão mostra que cada camada diminui com tempo de consolidação ( $T_d$ ), conforme o termo  $(T_d)^{-m}$ . O modelo de fundo conserva a massa, com ressuspensão e fluxos de deposição ocorrendo somente no nível do leito. Durante uma simulação, o modelo de fundo mostra mudanças na densidade das massas de sedimentos coesivos e não-coesivos em cada camada, resultado da ressuspensão e deposição na interface de sedimento-água.

**5.1.1.8.3.7. Ressuspensão de sedimentos não coesivos**

A ressuspensão de sedimento não-coesivo de um leito é calculada usando um procedimento desenvolvido por van Rijn (1984). O método de van Rijn mostrou resultados com bons rendimentos para prever carga suspensa de areias finas (van Rijn 1984, 1993, Garcia & Parker 1991, Ziegler & Nisbet 1994). Somente uma avaliação breve do método de van Rijn será apresentada, para detalhes do procedimento de cálculo veja van Rijn (1984). O primeiro passo no procedimento é comparar a velocidade da camada de cisalhamento  $u^*$  com a velocidade crítica da camada de cisalhamento,  $u^*_{crbed}$  baseado no  $D_{50}$  local, de acordo com o critério de Shields para iniciar o movimento.

O transporte suspenso só acontecerá se a velocidade da camada de cisalhamento exceder ambos os critérios de Shields para movimento de carga do leito e a velocidade crítica da camada de cisalhamento para suspensão,  $u^*_{crbed}$ . Se a ressuspensão acontece, o  $D_{50}$  local e a velocidade da camada de cisalhamento,  $u^*$ , são usados para determinar a concentração de referência a uma altura  $z = a$  anterior ao leito de sedimento,  $C_a$ . Finalmente, o valor local de  $u^*$ ,  $D_{50}$  e  $C_a$  são usados para calcular a taxa de transporte de carga suspensa.

Usando o método de van Rijn, o procedimento seguinte é adotado para calcular o transporte de carga suspenso.

**a) Cálculo da velocidade crítica da camada de cisalhamento para iniciar o movimento**

Um parâmetro de partícula não dimensional é introduzido primeiro:

$$D_* = \left[ \frac{(s-1)g}{\nu^2} \right]^{1/3} D_{50} \tag{6-16}$$

onde  $s$  = gravidade específica da partícula;  $g$  = aceleração da gravidade;  $\nu$  = velocidade cinemática; e  $D_{50}$  = diâmetro representativo da partícula de fundo.

A velocidade crítica da camada de cisalhamento para iniciar o movimento é calculada usando o critério de Shields

$$u^*_{crbed} = [(s-1)gD_{50}\theta_{cr}]^{1/2} \tag{6-17}$$

onde  $\theta_{cr}$  = parâmetro crítico móvel, definido como

*[Handwritten signatures and initials on the right margin]*

$$\begin{aligned} \theta_{cr} &= 0,24D_*^{-1}, D_* \leq 4 \\ \theta_{cr} &= 0,14D_*^{-0,64}, 4 < D_* \leq 10 \\ \theta_{cr} &= 0,04D_*^{-0,10}, 10 < D_* \leq 20 \\ \theta_{cr} &= 0,013D_*^{-0,29}, 20 < D_* \leq 150 \\ \theta_{cr} &= 0,055, D_* > 150 \end{aligned} \quad (6-18)$$

### b) Cálculo da velocidade crítica de cisalhamento para ressuspensão

A velocidade crítica de cisalhamento para ressuspensão é dada por

$$u_{*,crsus} = W_{s,2} \quad (6-19)$$

onde  $W_{s,2}$  = velocidade de queda do sedimento suspenso não coesivo. A velocidade de queda é especificada na entrada do modelo e é calculada para o diâmetro efetivo da partícula ( $D_k$ ) para o sedimento suspenso usando a fórmula de Cheng (1997)

$$W_{s,2} = \frac{v}{D_k} [(25 + 1,2D_*^2)^{0,5} - 5]^{1,5} \quad (6-20)$$

onde  $D_*$  = parâmetro não dimensional da partícula.

### c) Cálculo da velocidade da camada de cisalhamento

A velocidade próxima à camada de cisalhamento do fluido é calculada por:

$$u_* = \frac{ku}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad (6-21)$$

### d) Transporte de carga suspensa

Se a velocidade da camada de cisalhamento ( $u_*$ ) é menor que a limiar para movimento ( $u_{*,crbed}$ ) ou menor que a velocidade crítica de cisalhamento para ressuspensão de deposição ocorrer. Se  $u_*$  excede  $u_{*,crbed}$  e  $u_{*,crsus}$ , o fluxo de sedimento é do leito para a camada abaixo da coluna d'água. O transporte de carga suspensa é calculado como se segue:

Cálculo do parâmetro da fase de transporte

$$T = \frac{u_*^2}{u_{*,crbed}^2} - 1 \quad (6-22)$$

Cálculo no nível de referência acima do leito

$$a = \max(0,01h, k_s) \quad (6-23)$$

onde  $h$  = profundidade de água, e  $k_s$  = máxima rugosidade de Nikuradse

$$C_a = \frac{0,015D_k T^{1,5}}{aD_*^{0,3}} \quad (6-24)$$

Cálculo do fator  $\beta$

$$\beta = 1 + 2\left(\frac{W_s}{u_*}\right)^2, 0,1 < \frac{W_s}{u_*} < 1 \quad (6-25)$$

Cálculo do fator  $\phi$

$$\phi = 2,5\left(\frac{W_s}{u_*}\right)^{0,8} \left(\frac{C_a}{C_0}\right)^{0,4}, 0,01 < \frac{W_s}{u_*} \leq 1 \quad (6-26)$$

onde  $C_0$  = concentração no leito de volume máximo = 0,65

Cálculo do parâmetro de suspensão

$$Z' = Z + \phi = \frac{W_s}{\beta k u_*} + \phi \quad (6-27)$$

Cálculo do fator F

$$F = \frac{\left(\frac{a}{h}\right)^{z'} - \left(\frac{a}{h}\right)^{1,2}}{\left(1 - \frac{a}{h}\right)^{z'} (1,2 - Z')} \quad (6-28)$$

Cálculo do transporte de material suspenso

$$q_s = Fz u C_a \quad (6-29)$$

onde  $z$  = profundidade abaixo da camada  $\sigma$

Cálculo do fluxo de ressuspensão para o leito

O fluxo de ressuspensão é calculado com a diferença entre o total suspenso no transporte de carga e o fluxo atual de sedimento horizontal na  $\sigma$ -camada abaixo. Se esta diferença é maior que zero, está ocorrendo erosão, e se a diferença é menor que zero, está ocorrendo deposição. Portanto é possível ocorrer deposição mesmo se  $u^*$  exceder  $u^*_{crbed}$  e  $u^*_{crsus}$ .

O modelo calcula a ressuspensão por:

$$E = \frac{(sq_s - qzC_z)\Delta t}{\Delta x \Delta y} \quad (6-30)$$

onde  $C_z$  = concentração de sedimento suspenso abaixo da camada  $\sigma$ ;  $\Delta t$  = intervalo de tempo; e  $\Delta x$  e  $\Delta y$  = área da superfície de fundo.

*[Handwritten signatures and initials on the right margin]*

**5.1.1.8.3.8. Deposição de sedimento não coesivo**

Quando a velocidade da camada de cisalhamento ( $u_*$ ) é menor que o valor crítico ( $u_{*,crbed}$  ou  $u_{*,crsus}$ ), então o sedimento na coluna d'água deposita no leito de acordo com a equação:

$$D_2 = W_{s,2} C_2 \quad (6-31)$$

onde  $D_2$  = fluxo de deposição do sedimento não coesivo;  $W_{s,2}$  = velocidade de queda; e  $C_2$  = concentração de sedimento suspenso perto do leito.

**5.1.1.8.4. Implementação do modelo**

A implementação do modelo para simular o comportamento dos fluxos na região de interesse exige a execução de uma série de tarefas, entre as quais pode ser citado: (1) definição das condições de contorno; (2) obtenção do contorno da linha de costa; (3) geração do modelo digital da batimetria; (4) geração da grade numérica; etc. A forma como foi gerado cada um desses parâmetros durante a implementação do modelo é descrito a seguir.

**5.1.1.8.4.1. Dados batimétricos e de contorno de terra**

Os dados batimétricos utilizados neste trabalho foram produzidos a partir da digitalização das cartas náuticas de número 1820, 1821 e 1822 da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil.

Foram utilizadas duas edições da carta 1820, a 2ª edição de 1976 e a 3ª de 2005. Isto foi feito porque são edições que cobrem regiões complementares. As informações utilizadas para a geração da carta de 1976 foram obtidas até o ano de 1975, e para a carta de 2005, as informações são do período entre 1972 a 2003. As cartas de 1821 e 1822 são da 4ª edição de 2005 e possuem medições dos anos de 1975 a 2003 e 1979 a 2003, respectivamente. Esse fato evidencia uma fonte em potencial de erro na geração do modelo, uma vez que o campo batimétrico atual da baía de Paranaguá pode apresentar feições distintas das apresentadas nestas cartas. Entretanto, as regiões que apresentam maior dinâmica são atualizadas com maior frequência.

As cartas foram escaneadas e seus pontos digitalizados com o auxílio do *software* Surfer. No processo foram obtidas posições do contorno de terra do CEP, de ilhas, de áreas de mangue, de canais de dragagens e valores de profundidades.

As cartas náuticas se apresentam originalmente em sistema de referência de coordenadas geodésicas (*datum*) diferentes. Houve assim uma necessidade de conversão para o mesmo *datum* e uma mudança do sistema de projeção geodésica para UTM, para facilitar a aplicação dos dados no modelo computacional. O georeferenciamento dos pontos digitalizados foi necessário para um ajuste de deslocamentos de pontos. Este procedimento foi realizado com base em uma imagem de satélite georeferenciada com o auxílio do programa ERDAS.

Nas regiões de sobreposição, os pontos batimétricos coincidentes foram eliminados, tomando o cuidado de extrair os pontos de medições mais antigas. A figura 5.1.7 ilustra os pontos batimétricos obtidos após o tratamento.

Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like 'H. Yang', 'R.S.', and others.

Para a região de implementação do TCPP os dados de profundidade foram obtidos com maior densidade e são provenientes de campanhas com ecosondas. A figura 5.1.8 ilustra a localização dos pontos batimétricos.

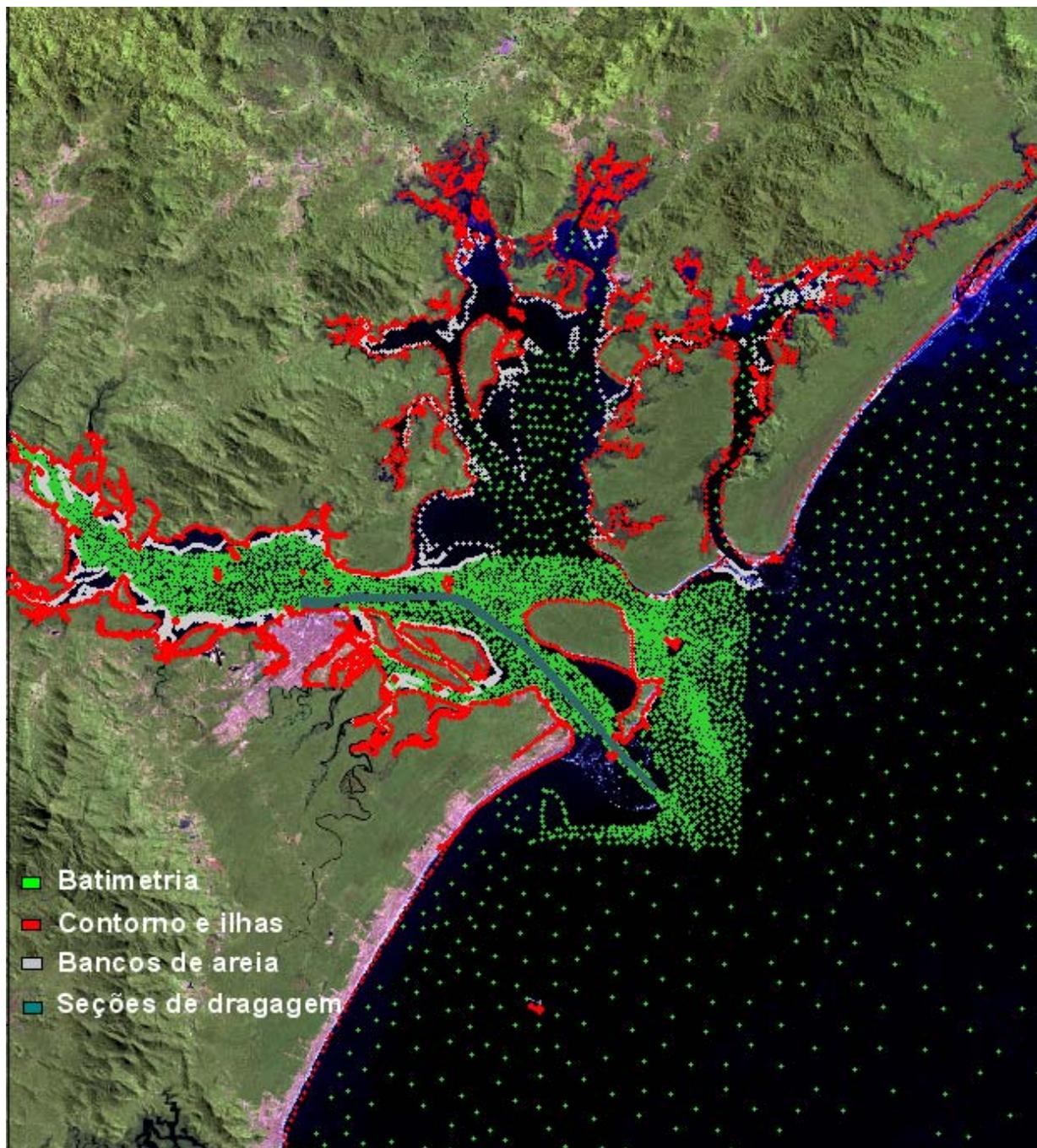


Figura 5.1.7: Pontos batimétricos digitalizados de cartas náuticas.

**5.1.1.8.4.2. Confeção da grade numérica**

A grade numérica criada para a implementação do modelo foi construída sobre o contorno de terra do estuário e representa adequadamente as ilhas e a linha de costa. A grade (Figura 5.1.9) é curvilínea, segue o contorno de terra e as direções principais



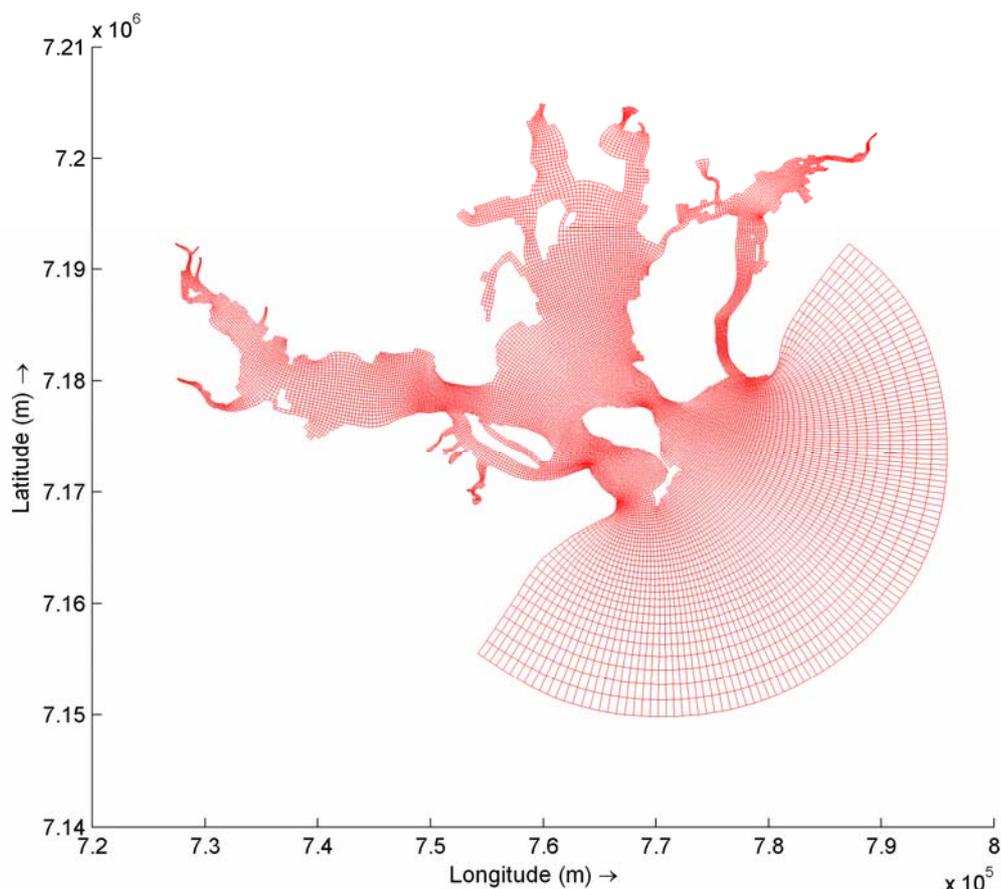


Figura 5.1.9: Grade numérica para o Complexo Estuarino de Paranaguá.

Com a definição do contorno de terra, dos pontos batimétricos e da grade numérica, essas informações são conjugadas para gerar o modelo digital da geomorfologia do estuário. A figura 5.1.10 mostra o campo batimétrico após interpolação para os pontos de grade.

**5.1.1.8.4.3. Obtenção das condições de contorno em mar aberto**

Uma das maiores dificuldades enfrentadas na implementação de modelos numéricos é a definição de condições de contorno aberto adequadas para que as simulações gerem resultados confiáveis. Em estudos de hidrodinâmica de estuários a principal condição de contorno a ser definida é o comportamento da elevação da superfície do mar na borda da grade, pelo fato desta ser a principal forçante nesses sistemas. Via de regra, é usual situar os contornos abertos da grade suficientemente afastados das regiões de maior interesse, para que possíveis problemas de condições de contorno não afetem significativamente os resultados. Essa prática acaba gerando problemas de obtenção de informações nos pontos de contorno, uma vez que as campanhas de coleta de dados em regiões estuarinas se concentram no interior dos estuários.

Assim, o problema de falta de informação de elevação da superfície do mar nos pontos do contorno aberto da grade numérica foi contornado pela utilização de constantes

[Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like 'H. Yang', 'R.S.', and others.]

harmônicas geradas por Camargo (1998), pela aplicação do modelo hidrodinâmico POM implementado para toda a plataforma sudeste.

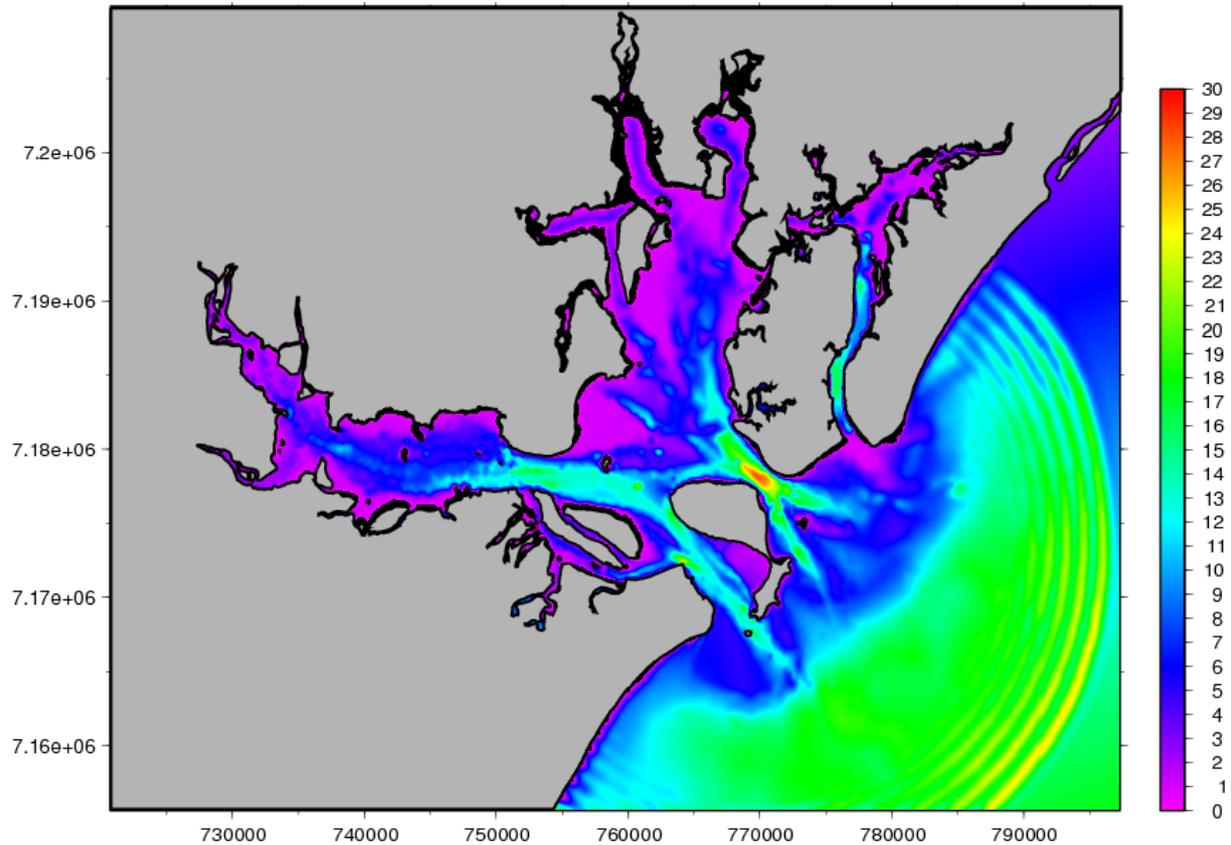


Figura 5.1.10: Campo batimétrico após interpolação

Após conversão desses pontos para coordenadas UTM, as amplitudes e fases, correspondentes às doze principais constituintes, foram linearmente interpoladas para os pontos da borda da grade através de uma rotina Fortran.

Segundo Camargo (1998), na região de estudo, assim como na plataforma continental sudeste brasileira, as componentes de maré dominantes são as diurnas Q1, O1, P1 e K1, e as semidiurnas N2, M2, S2 e K2, existindo também a presença da ter-diurna M3, da quarto-diurna M4 e outras componentes de pequeno fundo, especialmente a MN4 e MS4. Geralmente, o uso das constituintes M2, S2, N2, K2, K1, O1 e P1 são suficientes para uma precisão de que implica em erros não superiores a 10%. Para o estudo, no processo de interpolação, e posteriormente como condições de contorno, vão ser utilizadas as 12 componentes citadas.

#### 5.1.1.8.4.4. Medição de correntes em Julho de 2007

Os fundeios foram realizados em dois pontos utilizando correntômetros eletromagnéticos InterOcean S4 com especificações de qualidade acima das solicitadas tanto na intensidade quanto na direção das correntes. O posicionamento das estações foi realizado com GPS Garmin dentro das especificações solicitadas nos locais indicados. As estações foram realizadas em embarcações ancoradas nos pontos

Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like 'H. O.', 'R. S.', and others.

de medição sendo os correntômetros amarrados na borda das mesmas de modo a permanecer a 1,5 m de profundidade durante todo o período de medição. As medições foram realizadas durante um período de sizígia, com início, para o ponto P1, no dia 13 de junho de 2007, às 15:17 h, com um intervalo amostral de um minuto e foram finalizadas em 14 de junho de 2007 às 17:27 h, por tanto, por um período maior que 25 horas. No caso do ponto P2, o início se deu às 14:59 h do 13/06/07 e término em 14/06/07 às 17:35 h.

Utilizando-se um correntômetro de efeito Doppler ADCP marca Sontek, na função *Bottom-track*, foram realizados quatro transectos conforme as linhas definidas nos pares de coordenadas determinados por GPS submétrico. O primeiro e último transecto cruzam, aproximadamente, os pontos das medições fixas. As medições foram feitas para um ciclo de maré, aproximadamente, em duas situações de maré, uma de sizígia em 13/06/07 e outra de quadratura, em 20/06/07. O tempo empregado para a realização dos quatro transectos era de aproximadamente uma hora, sendo por tanto repetidos nesse intervalo ao longo do ciclo de maré. A coleta de 20/06/07 foi interrompida pouco antes do final por questões de segurança, já que um forte nevoeiro comprometeu a visibilidade. Esta interrupção não comprometeu os resultados, conforme consultado com o encarregado da modelagem numérica, Dr. José Eduardo Gonçalves, já que originalmente haviam sido solicitadas apenas duas seções, mas foram realizadas quatro, o que ofereceu uma superabundância de dados para a calibração e validação dos modelos.

### 5.1.1.9. Níveis de Ruído

A importância de estudar os níveis de ruído para esse empreendimento está em minimizar os impactos à população humana e à biota. Dessa forma, um diagnóstico dos atuais níveis acústicos, nas áreas de influência, se faz necessário.

As obras e operação de um porto são sabidamente atividades causadoras de poluição sonora. Dessa forma, devem-se mapear as atuais fontes de ruído para futuras comparações com os níveis de ruído da construção e operação do Terminal de Contêineres de Pontal do Paraná.

Segundo Mackenzie & Cornwell (1998) um ruído, comumente definido como um som indesejado, é um fenômeno ambiental ao qual somos expostos antes de nascer e também ao longo da vida. Pode também ser considerado um poluente ambiental, um resíduo gerado em conjunção com as atividades antropogênicas. Assim, formalmente, os autores definem ruído da seguinte forma:

“Ruído é um som – independente de sonoridade – que pode produzir um efeito psicológico ou fisiológico indesejado em um indivíduo e que pode interferir em atividades de um indivíduo ou grupo, tais como comunicação, descanso, trabalho e recreação.”

A medida da intensidade do som é feita em uma unidade denominada decibel (dB). Como equipamentos de medição de som medem a raiz quadrada da pressão média, o nível de pressão sonora ( $N_{PS}$ ) é calculado como:



$$N_{PS} = 10 \log \left( \frac{(P_{SE})^2}{(P_0)^2} \right),$$

ou ainda

$N_{PS} = 20 \log \left( \frac{P_{SE}}{P_0} \right)$ , onde  $P_{SE}$  é a pressão sonora efetiva e  $P_0$  é a pressão sonora de referência ( $P_0 = 2 \times 10^{-5} Pa$ ).

A figura 5.1.11 mostra uma escala com alguns níveis de pressão sonora comuns.

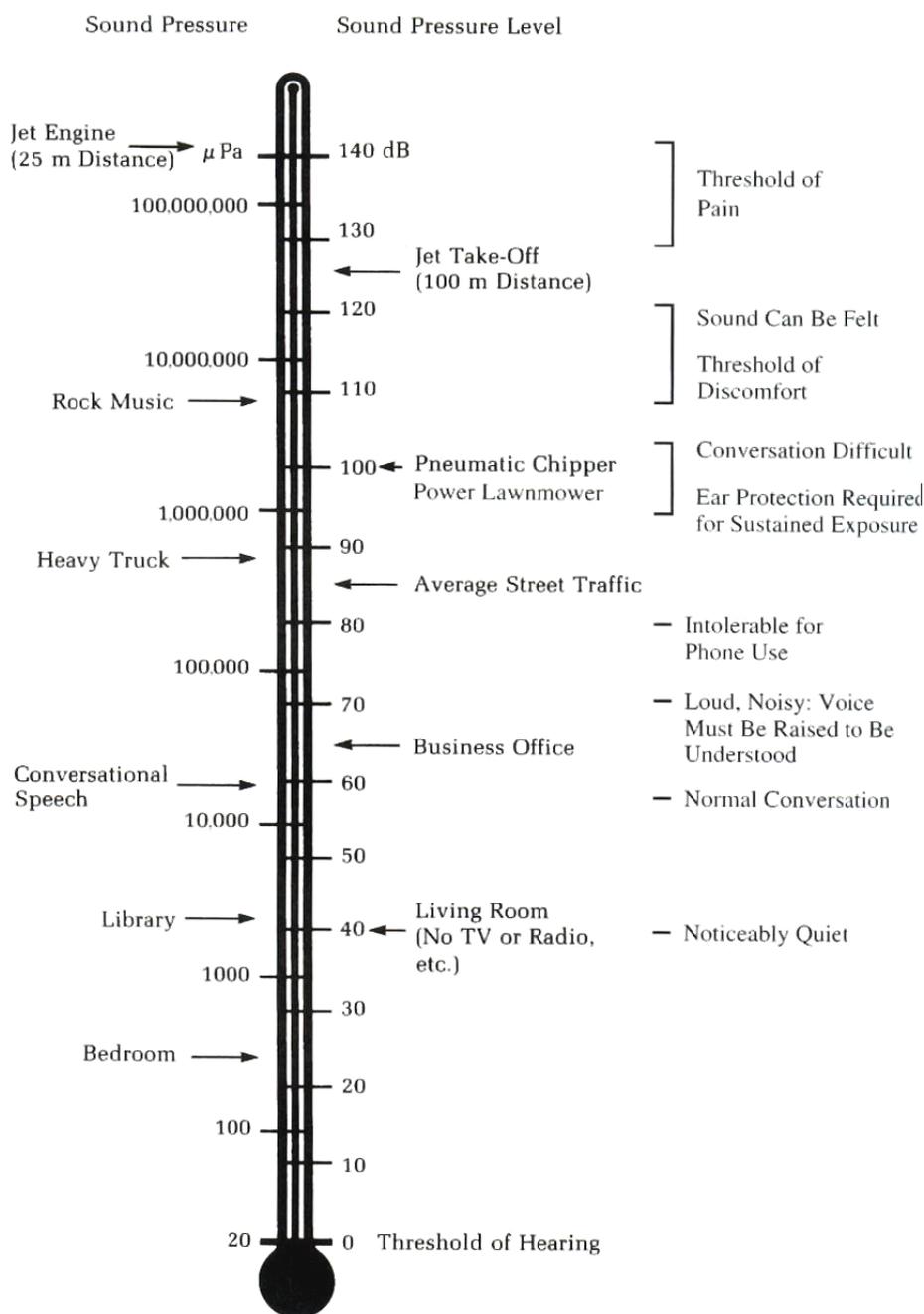


Figura 5.1.11: Escala relacionando níveis de pressão sonora com pressão sonora efetiva (Mackenzie & Cornwell 1998).

#### 5.1.1.9.1. Legislação e normas brasileiras

Na esfera federal, a Resolução nº. 001 de 08 de março de 1990 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) trata do assunto.

Além disso, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) possui duas normas referentes ao assunto de avaliação e medições de ruídos: NBR-10 152 - Níveis de ruído para conforto acústico e NBR-10 151 - Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento.

Para o cálculo do nível sonoro equivalente ( $L_{Aeq}$ ) em todos os pontos monitorados, segue-se a NBR-10 151, que estabelece a seguinte equação:

$$L_{Aeq} = 10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right),$$

onde:

$L_i$  é o nível de pressão sonora, em dB(A), lido em resposta rápida (*fast*) a cada cinco segundos, durante o tempo de medição;

$n$  é o número total de leituras.

#### 5.1.1.9.2. Bases para escolha de locais para monitoramento

Foram estabelecidos alguns parâmetros para serem analisados visando à escolha dos locais de monitoramento dos níveis atuais de ruído na área de influência para o novo empreendimento.

Os estudos levam em conta o potencial impacto das emissões sonoras das obras de implantação do Terminal de Contêineres de Pontal do Paraná e da operação desse porto que se dará sobre a população circunvizinha ao empreendimento, e ainda, como possibilidade, sobre animais terrestres ou aquáticos. Dessa forma, estudaram-se as concentrações populacionais da área de influência de forma a monitorar os impactos sobre uma parcela significativa da população.

Paralelamente ao estudo das densidades populacionais, aprofundou-se a caracterização geográfica do município para que sejam reconhecidas as estruturas habitacionais, sejam elas urbanas ou rurais, além de possíveis ruas, avenidas, parques, reservas ambientais e/ou áreas de proteção ambiental.

A principal base de informação para esse estudo é o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado – PDDI (Pontal do Paraná 2007), o qual não se encontra em vigor, mas inclui muitas informações técnicas relevantes. A base cartográfica utilizada nesse plano diretor foi produzida pelo Paranacidade no ano de 1997.

Uma área na qual devem ser executadas campanhas de monitoramento é o terreno no qual será implantado o empreendimento, pois será esse local o potencialmente mais



impactado. Por esse motivo, as primeiras medições são executadas na futura localização do TCPP. A seção 5.1.10 comenta essa campanha.

A área externa, mais próxima ao empreendimento, também se mostra como uma área de grande interesse, pois é aquela com maior possibilidade de ser atingida por algum impacto por meio do aumento do nível de ruídos, provenientes de máquinas operando durante as obras, movimentação de navios, máquinas na operação do porto, tráfego de automóveis e caminhões, entre outros. Apesar de não haver grande concentração de população, essa área próxima ao empreendimento é monitorada.

A figura 5.1.12 ilustra, em destaque a área mais populosa a ser potencialmente atingida, devido ao possível aumento de tráfego nas vias de acesso ao novo empreendimento. Essa localidade apresenta várias igrejas, escolas e residências situadas à margem da via principal ou nas proximidades.

A terceira região de interesse é a situada em local mais afastado do empreendimento, porém em local mais próximo do “centro”. Nessa região há a junção entre a rodovia estadual PR-412 e a possível via de acesso ao Terminal de Contêineres de Pontal do Paraná. Essa região é mostrada na figura 5.1.12.

Definidas as áreas de maior interesse, foi realizada visita técnica para que, com ajuda de mapas e a visualização *in loco* fosse possível à definição final dos pontos, dias e horários nos quais o monitoramento deveria ser realizado. A seção 5.1.10 detalhará a localização dos pontos monitorados.

### 5.1.1.9.3. Equipamentos de medição

Para serem realizadas medições de qualidade são necessários instrumentos de medição confiáveis e calibrados. Dessa forma, foram preparados, para as campanhas de monitoramento dos níveis de ruído atuais os seguintes equipamentos:

- Decibelímetro MSL-1325 marca MINIPA para executar as medições de níveis sonoros (Figura 5.1.13-a);
- Calibrador MSL-1326 marca MINIPA para calibrar o decibelímetro antes e depois das medições (Figura 5.1.13-b);
- Notebook para anotação e armazenagem dos dados medidos.





**LEGENDA:**

A: Foco em população com possibilidade de ser atingida por potenciais impactos

B: Foco em locais próximos ao “centro do balneário de Pontal do Sul”



 <b>AMB</b> Planejamento Ambiental e Biotecnologia Ltda		 <b>PORTO PONTAL</b> Pontal do Paraná Importação e Exportação Ltda	
Coordenador Geral Rodolfo José Angulo		Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental para o Terminal de Contêineres de Pontal do Paraná	
Geoprocessamento Maria Cristina de Souza Mauricio Almeida Noernberg		Data jun/2007	
Escala 1:38.000		<b>Figura 5.1.12: Área de interesse para monitoramento dos níveis de ruídos</b>	



Figura 5.1.13: Decibelímetro (A) e calibrador (B), ambos MINIPA

#### 5.1.1.10. Qualidade do ar

O diagnóstico sobre a qualidade do ar na região prevista para a construção do porto foi realizado a partir do monitoramento de material particulado em suspensão, principal poluente encontrado em ambientes litorâneos devido à presença de aerossóis marinhos na atmosfera, além de ser também uma das principais substâncias que serão emitidas durante a fase de construção e operação do terminal portuário.

Este diagnóstico avalia também as condições atuais da qualidade do ar nas áreas de influência direta e indireta com base em estudos de empreendimentos similares e das características da atmosfera típicas em regiões litorâneas, levando em conta seus aspectos naturais e antropogênicos.

Além disso, a seção de avaliação de impactos ambientais contempla uma modelagem da dispersão atmosférica de poluentes da implantação e operação do porto, sendo que um dos cenários estudados é a situação atual. A comparação entre as condições atuais (antes do porto) e futuras (construção e operação do porto) permite avaliar o incremento de poluição devido ao porto, considerando outras substâncias além do material particulado, como os óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>), óxidos de Enxofre (SO<sub>x</sub>) e monóxido de Carbono (CO).

##### 5.1.1.10.1. Legislação e normas

A qualidade do ar deve atender padrões legais e estes limites são determinados por legislação federal, através da Resolução Conama 003/90, e no âmbito do estado do Paraná pela Resolução SEMA 054/06 (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos).

A verificação de atendimento aos padrões no entorno de empreendimentos pode ser feita através da medição de poluentes no ar ou através de modelos matemáticos de dispersão atmosférica (Resolução SEMA 054/06). Conforme será visto adiante (Tabela 5.1.5), cada substância tem um método de medição indicado pela legislação. No caso das Partículas Totais em Suspensão (PTS) na atmosfera deve-se utilizar um Amostrador de Grandes Volumes ou um método equivalente. Este tipo de equipamento é conhecido como Hi-vol e tem sua metodologia de utilização descrita pela norma ABNT NBR-9 547/86 – Material Particulado em Suspensão no Ar Ambiente,

Determinação da Concentração Total pelo Método de Amostrador de Grande Volume, que foi baseada na norma norte-americana da EPA (*Environmental Protection Agency*), “*Reference Method for the Determination of Suspended Particulates in Atmosphere (High Volume Method)*”.

De acordo com a Resolução 003/90, “entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos”. Estes níveis são impostos pela própria Resolução citada, e são definidos para garantir que estas substâncias não “tornem ou possam tornar o ar: impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora; prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade”.

Diversas substâncias, quando presentes na atmosfera, podem trazer efeitos negativos, mas algumas se destacam por serem mais emitidas pelas principais fontes antropogênicas em regiões urbanas e industriais e pelos danos que causam à saúde. Por isso, elas são tidas como indicadores da qualidade do ar. Segundo a Resolução 003/90, os “poluentes critérios” são:

- **Partículas Totais em Suspensão – PTS:** são todas as partículas encontradas no ar, incluindo poeira, fuligem, fumo e gotas líquidas. O material particulado (MP) pode ficar em suspensão no ar durante muito tempo. Os seus principais processos de remoção são a deposição gravitacional e a “lavagem” pela chuva. Por isso seu impacto é maior em regiões secas ou em períodos de estiagem. Suas fontes são diversas, tais como veículos, fábricas, estradas não-pavimentadas, obras de engenharia, etc. Os danos causados pelo MP são diversos, como redução da visibilidade e problemas respiratórios, entre outros efeitos.
- **Partículas Inaláveis – PI:** representam partículas que possuem diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10  $\mu\text{m}$ . Por isso elas também são chamadas de MP<sub>10</sub>. Estas, por serem menores, afetam mais a saúde, pois são capazes de atingir partes mais internas do sistema respiratório.
- **Fumaça:** é a fração de partículas geradas principalmente nos processos de combustão e representada pela parte visível da pluma.
- **Óxidos de Enxofre – SO<sub>x</sub> (SO<sub>2</sub>+SO<sub>3</sub>):** produzidos na queima de combustíveis com Enxofre em sua composição, destacando-se óleo cru, carvão e óleo diesel. O SO<sub>x</sub> é um dos responsáveis pela formação da chuva ácida e quando absorvido pela respiração pode causar sérios problemas pois é um gás muito irritante e capaz de formar ácidos no interior do sistema respiratório. Combustíveis de navios podem emitir bastante SO<sub>x</sub>.
- **Monóxido de Carbono – CO:** substância incolor e inodora originada principalmente nos processos de combustão incompleta de combustíveis fósseis (com carvão, petróleo, gás natural) e outros materiais que contenham Carbono em sua composição (biomassa, por exemplo). Muito prejudicial ao sistema respiratório, pois se agrega à hemoglobina do sangue, reduzindo a oxigenação



do pulmão, podendo levar à morte por asfixia, dependendo da concentração e da exposição a este contaminante.

- Ozônio – O<sub>3</sub>: resultante de reações químicas na atmosfera, a partir da presença de óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>), hidrocarbonetos (principalmente os Compostos Orgânicos Voláteis – COV) e radiação solar. O Ozônio na troposfera (ao contrário da camada de Ozônio – na estratosfera) é um poluente secundário (gerado a partir de outras substâncias), constituindo-se em um dos maiores problemas de poluição em grandes cidades ou em regiões industriais. Esta é a substância causadora do *smog* fotoquímico.
- Óxidos de Nitrogênio – NO<sub>x</sub> (NO e NO<sub>2</sub>): são resultantes de processos de combustão a altas temperaturas. A grande parte dos óxidos de Nitrogênio são incolores e inodoros, mas o NO<sub>2</sub>, junto com outras partículas, pode formar uma camada marrom-avermelhada sobre áreas urbanas, principalmente. O NO<sub>x</sub> também é solúvel em água, podendo causar chuva ácida no meio ambiente. Nos seres vivos, pode afetar todo o aparelho respiratório nos animais, e nas plantas pode afetar principalmente as folhas. Pelas propriedades deste gás, pode também causar irritações nasais, dos olhos e desconforto pulmonar.

Portanto, as substâncias atmosféricas podem ser agrupadas em: gases ou partículas, sendo que nesta última categoria estão inseridas as substâncias PTS e PI, e as demais substâncias citadas (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, O<sub>3</sub>) são caracterizada como gases.

As substâncias são também classificadas em: a) poluentes primários – aqueles que são lançados e não sofrem modificação no meio ambiente até atingir um receptor (pessoas, estação de monitoramento, etc.), tais como CO, NO e SO<sub>2</sub>; ou b) poluentes secundários – aqueles que sofrem reações químicas, como por exemplo, o NO<sub>2</sub>, que é originado da oxidação do NO e o O<sub>3</sub>, resultante de transformações fotoquímicas a partir da presença de NO<sub>x</sub> em conjunto com Compostos Orgânicos Voláteis (COV), que são hidrocarbonetos mais leves e facilmente volatilizados, com reações ocorrendo com energia da radiação solar durante o dia.

Geralmente algumas fontes de poluição geradoras das substâncias acima, especialmente os processos em que há queima de combustíveis, emitem também o Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), principal causador do efeito estufa, que vem causando o efeito de mudanças climáticas no Planeta.

Quanto às fontes de poluição, elas podem ser classificadas como estacionárias ou móveis. No primeiro caso enquadram-se as indústrias ou outras fontes fixas e no segundo caso os veículos, aviões, navios, etc. Além disso, elas podem ser concentradas ou difusas, ou seja, a emissão de uma chaminé ou de um duto é uma fonte de emissão concentrada em uma pequena área (pontual), e a emissão pela circulação de veículos em uma via não pavimentada ou de navios em movimento podem ser enquadradas como fontes difusas.

A tabela 5.1.5 mostra os Padrões de Qualidade do Ar para as substâncias regulamentadas, bem como os períodos para cálculo das médias e seu método de medição no ambiente. Além destes padrões, que controlam a concentração de



poluentes gerados por todas as fontes emissoras (tráfego, atividades de engenharia, indústrias e poluição natural, tais como, queimadas naturais, pólen, maresia, etc.), existem na legislação estadual (composta pela Lei 13 803/02 e Resolução SEMA 054/06) limites de emissão, visando controlar a poluição na fonte geradora (indústrias):

- Padrões de Emissões para Fontes Estacionárias: limites de emissões (lançamento) para qualquer instalação, equipamento ou processo que possa emitir matéria ou energia para a atmosfera.
- Padrões de Condicionamento de Fontes: condições técnicas de implantação ou de operação que devem ser observadas pelas fontes potenciais de poluição atmosférica.

Tabela 5.1.5: Padrões de Qualidade do Ar (Resoluções Conama 003/90 e SEMA 054/06).

Poluentes	Padrão Primário (µg/m <sup>3</sup> )	Padrão Secundário (µg/m <sup>3</sup> )	Tempo Amostragem	Método de Medição
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	240 <sup>(1)</sup>	150 <sup>(1)</sup>	24 h anual <sup>(3)</sup>	amostrador de grandes volumes (Hi-Vol)
	80	60		
Partículas Inaláveis (PI)	150 <sup>(1)</sup>	150 <sup>(1)</sup>	24 h anual <sup>(2)</sup>	separação inercial/filtração
	50	50		
Fumaça	150 <sup>(1)</sup>	100 <sup>(1)</sup>	24 h anual <sup>(2)</sup>	Refletância
	60	40		
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	365 <sup>(1)</sup>	100 <sup>(1)</sup>	24 h anual <sup>(2)</sup>	Pararrosanilina
	80	40		
Monóxido de Carbono (CO)	40.000 <sup>(1)</sup>	40.000 <sup>(1)</sup>	1 h 8 h	infravermelho não dispersivo
	10.000 <sup>(1)</sup>	10.000 <sup>(1)</sup>		
Ozônio (O <sub>3</sub> )	160 <sup>(1)</sup>	160 <sup>(1)</sup>	1 h	Quimiluminescência
Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> )	320	190	1 h anual <sup>(1)</sup>	Quimiluminescência
	100	100		

Notas: <sup>(1)</sup> não deve ser excedido mais do que uma vez por ano; <sup>(2)</sup> média aritmética; <sup>(3)</sup> média geométrica

O padrão primário de qualidade do ar, menos rígido, determina o valor máximo estabelecido com o objetivo de proteger a saúde humana. O padrão secundário é mais rígido e determina valores abaixo dos quais os danos sejam mínimos ao bem-estar da população, ao patrimônio físico, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Para as fontes móveis existem os Padrões de Emissões Veiculares, que são aplicados para veículos novos. Para os veículos usados, alguns estados já implementaram o Programa de Inspeção e Manutenção Veicular, com o objetivo de garantir controle da emissão de poluentes de veículos em circulação, independentemente do seu uso e estado de conservação, devendo assim estar de acordo com limites de lançamento de gases e partículas para a atmosfera.

#### 5.1.1.10.2. Escolha do local de monitoramento

A avaliação de impactos ambientais sobre a qualidade do ar deve ser feita em locais onde vivem pessoas que possam ser afetadas pelas atividades potencialmente poluidoras. A Resolução SEMA 054/06 descreve em seu Artigo 9º, que “a verificação do atendimento aos padrões primários de qualidade do ar, quando aplicável, deve ser feita em áreas residenciais, urbanas ou outras onde a permanência de pessoas não é

de caráter esporádico”. O local selecionado para as medições foi o *campus* da UFPR – Universidade Federal do Paraná em Pontal do Sul, por ser um local de alta concentração de pessoas, circundado de casas e estar nas proximidades do Porto a ser construído, dentro de sua área de influência. Além disso, o local está a poucas dezenas de metros da estação meteorológica cujos dados são utilizados neste diagnóstico. Nas figuras 5.1.14a e 5.1.14b, pode-se ter uma visão a partir do ponto de monitoramento: na primeira, direcionada à região do Porto, é possível observar uma região urbanizada; a segunda está direcionada para a orla, com a estação meteorológica no centro. O Hi-vol foi posicionado em cima de uma estrutura de 12 m de altura, sendo uma altura adequada para que as medições não sofram influência direta da emissão da via não pavimentada próxima (Figura 5.1.14b).



a

b

**Figura 5.1.14: Vistas a partir do ponto de monitoramento com o Hi-vol: a) direcionada para o Porto e em destaque uma região urbanizada; b) direcionada para a orla, com destaque na estação meteorológica e via não pavimentada.**

### 5.1.1.10.3. Equipamentos de medição

Tanto o equipamento para medição de PTS quanto a sua operação e procedimentos de amostragem são definidos pela NBR-9 547/86. A estação de monitoramento utilizada (Figura 5.1.15) funciona da seguinte forma: o sistema é instalado dentro de uma casinhola com geometria que favorece a coleta de partículas de até 25-50  $\mu\text{m}$ ; um moto-aspirador suga certa quantidade de ar ambiente que passa através de um filtro especial durante o período de amostragem (tipicamente 24 h); o filtro tem sua umidade equilibrada e é pesado antes e após a coleta para se determinar o ganho líquido de massa de material particulado; assim, com o peso de material retido e com o cálculo do volume de ar que passou pelo equipamento, determina-se a concentração média diária. O controle de umidade e as pesagens devem ser feitos por laboratório competente.

A estação de material particulado deve ser calibrada toda vez que é instalada, ou em outros casos especiais como troca de motor, reparos realizados, etc. O equipamento foi calibrado com um “kit de calibração” (Figura 5.1.15), fornecido pela mesma fabricante do Hi-vol, e serve para padronizar e correlacionar à vazão do equipamento que é

Handwritten signatures and initials on the right margin of the page.

registrada em uma carta através de uma pena com a vazão que efetivamente passa pelo filtro. Esta calibração foi feita em dia 28/04/07, no mesmo dia em que se iniciaram as medições.

Para as medições de temperatura e umidade nos dias de monitoramento de material particulado utilizou-se um termo-higrômetro digital, que pode ser visto na figura 5.1.16.



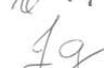
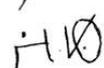
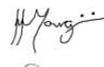
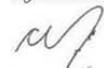
Figura 5.1.15: Hi-vol: estação utilizada no monitoramento de PTS com Kit de Calibração instalado.



Figura 5.1.16: Termo-higrômetro digital para medição de temperatura e umidade durante amostragem.

### 5.1.2. Clima e condições meteorológicas

O complexo estuarino de Paranaguá (CEP) recebe as águas das bacias de drenagem tanto do sopé da Serra do Mar quanto da planície costeira, correspondendo a uma área total de mais de 3 300 km<sup>2</sup> (Figura 5.1.17). As baías de Antonina e Paranaguá recebem a drenagem de aproximadamente 54% da área de toda a bacia hidrográfica litorânea do estado do Paraná e apresentam uma deficiência hídrica no inverno, quando a evaporação é sete vezes superior à precipitação. No verão ocorrem excedentes


hídricos, intensificando-se o aporte de água doce na direção do estuário. Também nessa época o potencial de erosividade pela chuva é oito vezes superior ao do inverno (Mantovanelli 1999). As variações sazonais deste fluxo são basicamente controladas pelo regime pluviométrico (Knoppers *et al.* 1987). A descarga de água doce no complexo provém do aporte de pequenos rios, dos quais os principais são o Cachoeira, o Nhundiaquara e o Marumbi, na região de Antonina; o Guaraguaçu no seu litoral sul e outros menos relevantes, com valores de aporte líquido estimado em mais de 200 m<sup>3</sup>/s (Marone *et al.* 1995). No eixo leste-oeste, o rio Cachoeira é o que apresenta o maior aporte de água doce e material particulado em suspensão para o estuário, especialmente no inverno (Mantovanelli 1999). Muitos canais de maré desembocam nas margens da baía, como o Maciel, por exemplo, escoando as águas salgadas das enchentes e vazantes das marés, mas também águas doces da percolação do lençol freático e as águas das chuvas, principalmente nos períodos chuvosos de final de verão e final de inverno. De modo geral, a circulação induzida pela descarga de água doce no eixo leste-oeste é de uma a duas ordens de grandeza inferior à induzida pela corrente residual.

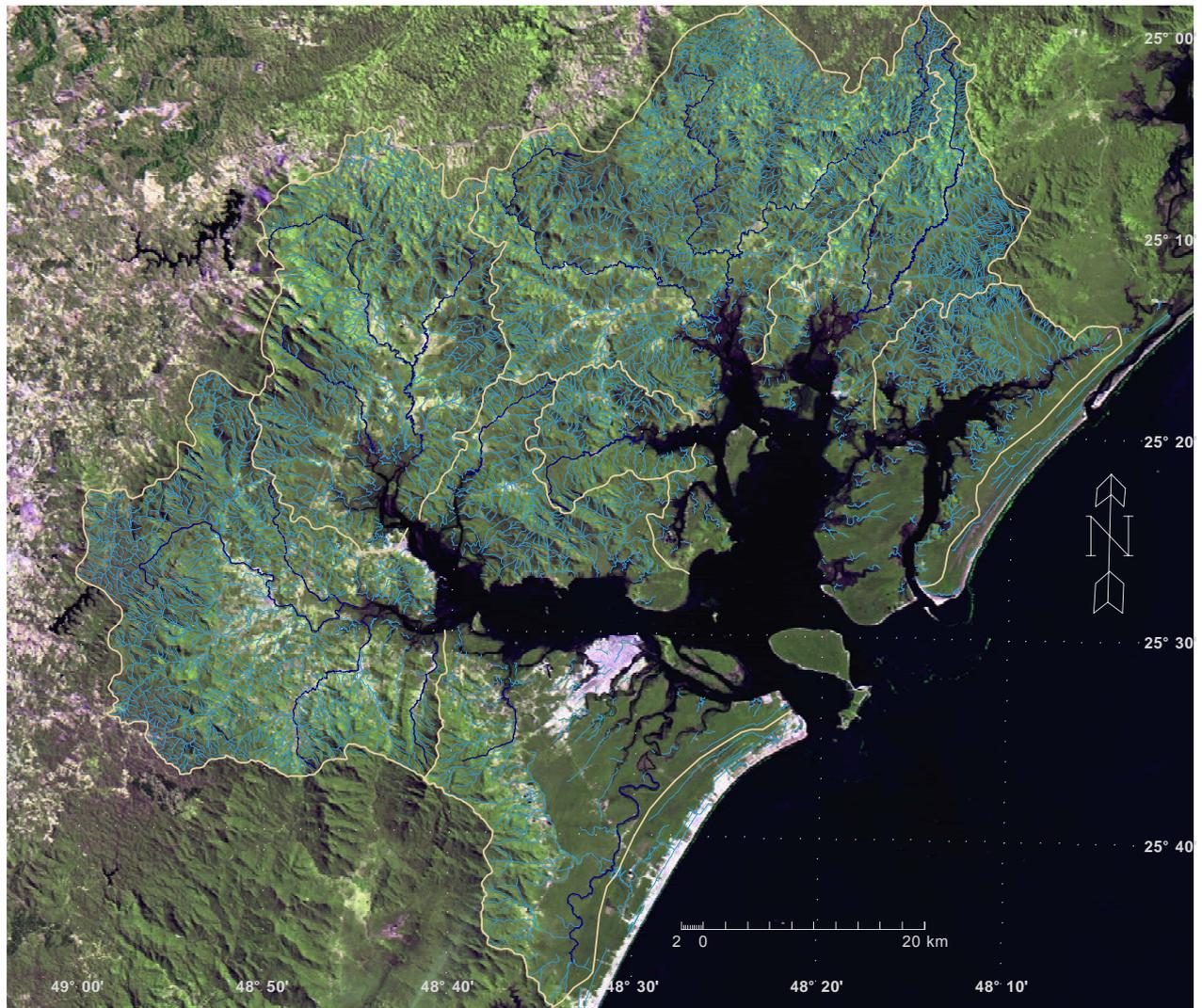


Figura 5.1.17: Complexo Estuarino de Paranaguá, CEP, e sua rede de drenagem fluvial.

A vertical column of handwritten signatures and initials is located on the right side of the page, adjacent to the map. The signatures are written in black ink and vary in style, including some that appear to be initials or short names.

A região apresenta clima pluvial temperado, com temperatura média anual de 21°C (ar), sempre úmido com chuvas todos os meses do ano e temperatura média do mês mais quente maior que 22°C (Cfa) (Ipardes 1989). O clima de Paranaguá é caracterizado na classificação de Köppen como do tipo Cfa, onde “C” significa clima pluvial temperado, o “f” significa um clima sempre úmido, com chuvas em todos os meses do ano, e a letra “a” refere-se ao fato de que a temperatura média do mês mais quente encontra-se acima de 22°C. No caso de Paranaguá, observa-se a média de 24,9°C no mês de janeiro.

A pluviosidade média é de 1.988 mm, com estações chuvosas durante o verão (fevereiro) e secas no inverno (julho e agosto). O regime de ventos é controlado pela influência do sistema semipermanente da Alta do Atlântico Sul e pela passagem de sistemas frontais. Predominam ventos dos setores ENE, E, ESSE e SE, com intensidade média de 4 m/s. O sistema de brisa na região é bastante relevante, sendo detectadas amplitudes de até 2 m/s nos meses de novembro a março (Camargo & Marone 1995).

As frentes frias que se formam ou se propagam ao longo da costa brasileira, deformam-se sob influência do relevo continental sobre a qual se deslocam. No Paraná, a Serra do Mar e suas ramificações formam compartimentos que servem de anteparo às frentes frias, o que acarreta nevoeiros e precipitações locais. Este fenômeno provoca também acentuada nebulosidade e elevada umidade relativa do ar na região.

A variação diurna da direção dos ventos constitui um aspecto normal. As brisas marinhas de leste e sudeste sopram geralmente durante o dia, do mar para o interior, com uma velocidade média de 2,2 m/s. À noite, ocorre situação diversa, com ventos soprando do sudoeste e do sul, e menos freqüente de noroeste, com velocidades na faixa de 1,6-2,2 m/s. Os ventos procedentes de leste e sudeste são os predominantes, com freqüência de 43,4%. Os do setor sul apresentam freqüência de 33%, e aqueles do Norte (5,9%) e do Nordeste (6,8%) são as direções minoritárias. O período de calma corresponde a 10,9%.

Existem dados meteorológicos detalhados em seis estações meteorológicas na região, a saber:

1. Pontal do Sul, operada pelo Centro de Estudos do Mar, da Universidade Federal do Paraná, com dados meteorológicos coletados a partir de 1993.
2. Estação Paranaguá do DNMET, código 02548055. Coordenadas: 25°32'S e 48°31'W, com altitude de 5 m, e localizada a 15 km da costa. Esta estação iniciou suas operações em 1910, e foram analisados os dados referentes ao período de janeiro de 1961 a dezembro de 1985. Esta estação teve continuidade na estação do DNMET no aeroporto.
3. Estação de Antonina (IAPAR), código 02548070. Coordenadas: 25°13'S e 48°48'W, com altitude de 60 m. Dados meteorológicos coletados a partir de novembro de 1977.



4. Estação de Morretes (IAPAR), código 02548038. Coordenadas: 25°28'S e 48°50'W, com altitude de 59 m. Dados meteorológicos coletados a partir de janeiro de 1966.
5. Estação de Guaraqueçaba (IAPAR), código 02548039. Coordenadas: 25°18'S e 48°20'W, com altitude de 40 m. Dados meteorológicos coletados a partir de novembro de 1977.
6. Estação de Piraquara, localizada no planalto, código 02549041. Coordenadas: 25°25'S e 49°08'W, com altitude de 930 m. Dados meteorológicos coletados a partir de fevereiro de 1970.

A estação meteorológica de Paranaguá, em operação durante um longo prazo, fornece a temperatura máxima absoluta superior a 38°C, e a mínima absoluta de 1,1°C em 24/06/1913. Os dias límpidos (nebulosidade 0 a 3) são em número médio de 20 por ano, na média de 42 anos. A precipitação máxima anual em Paranaguá foi de 2 429,5 mm, no ano de 1947. A precipitação mínima ocorreu em 1916, e foi de 1 433 mm. O valor médio da precipitação anual em Morretes é de 1 754 mm, com um máximo de 2 393 mm em 1957, e um mínimo de 1 078 mm em 1964 (Ipardes 1989).

É apresentada a seguir uma série de gráficos que registram a variabilidade dos parâmetros meteorológicos nas diversas estações meteorológicas da região e a sazonalidade anual dos parâmetros, sendo os anos selecionados pela sua representatividade e simultaneidade. A figura 5.1.18, por exemplo, apresenta a média das temperaturas máximas para três estações meteorológicas (Morretes, Antonina e Guaraqueçaba) de 1983 a 1994. Observa-se que a temperatura máxima é bastante similar para as três estações meteorológicas e possui uma variabilidade muito pequena (de 25,5°C a 27,0°C) ao longo dos anos de dados analisados.

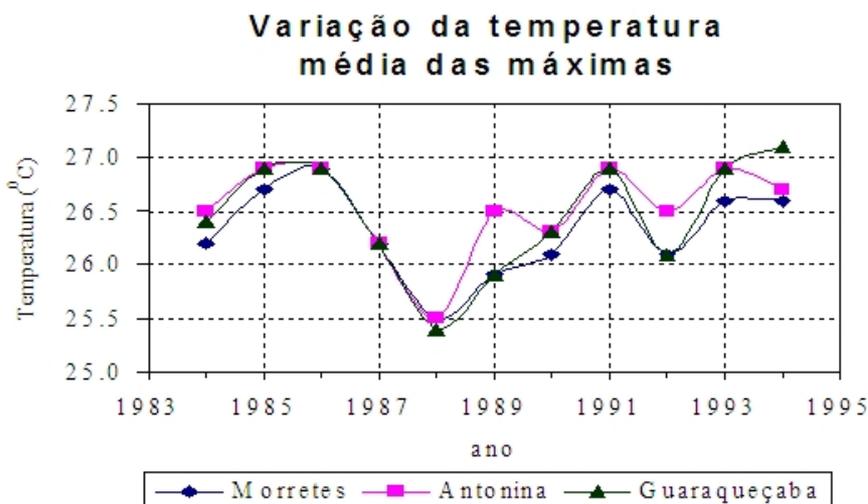


Figura 5.1.18: Variação da temperatura, médias das máximas anuais para Morretes, Antonina e Guaraqueçaba.

A figura 5.1.19 apresenta os dados das mínimas anuais para as mesmas estações, evidenciando-se amplitude pequena na variabilidade anual da temperatura mínima nestas três estações meteorológicas.

A figura 5.1.20 mostra a alta umidade relativa do ar na região de Paranaguá, com valores típicos da ordem de 85 % ao longo do ano, com variabilidade muito pequena. A figura 5.1.21 apresenta a precipitação nestas três estações meteorológicas, com uma média de 2 000 a 2 500 mm para a região. A figura 5.1.22 apresenta a variabilidade anual da temperatura média, em Pontal do Sul, onde se observa uma mínima da ordem de 17°C em agosto e uma máxima de 28°C em janeiro-fevereiro. No período, observa-se pouca variabilidade interanual na temperatura. A figura 5.1.23 apresenta as mudanças temporais da umidade relativa do ar, com valores de 65 a 90 %.

A figura 5.1.24 apresenta a variação ao longo do ano do módulo da velocidade do vento para a estação meteorológica do Pontal, de 1993 a 1996. Os meses de outubro – novembro e dezembro são os de maior intensidade do vento.

A figura 5.1.25 apresenta a variação diária da temperatura, com um padrão da ordem de 15°C no inverno e de 27°C no verão. A figura 5.1.26 apresenta a variabilidade anual da pressão atmosférica em Paranaguá. Observa-se que os meses de outubro a fevereiro são os que apresentam as menores pressões atmosféricas, embora a variabilidade seja bastante pequena.

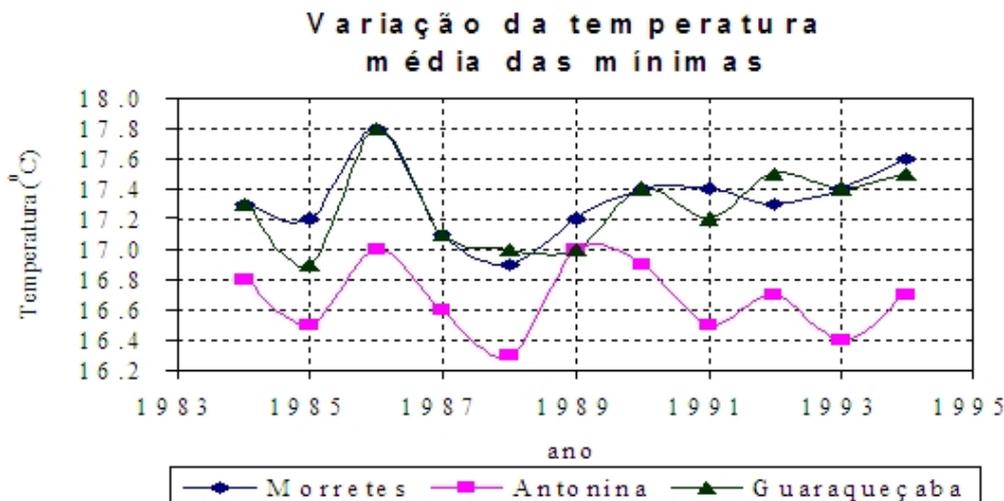


Figura 5.1.19: Variação da temperatura, médias das mínimas anuais para Morretes, Antonina e Guaraqueçaba.

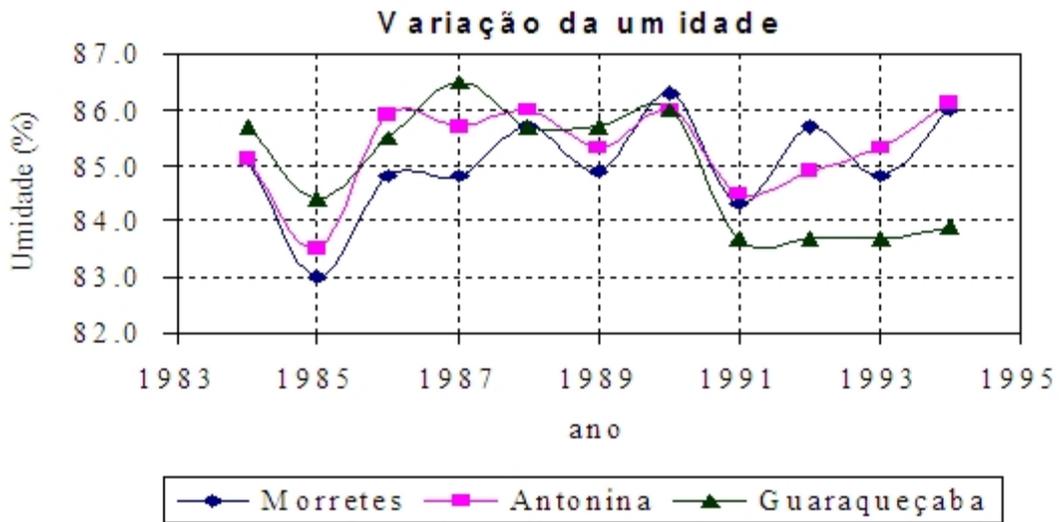


Figura 5.1.20: Variação da umidade, média anual para Morretes, Antonina e Guaraqueçaba.

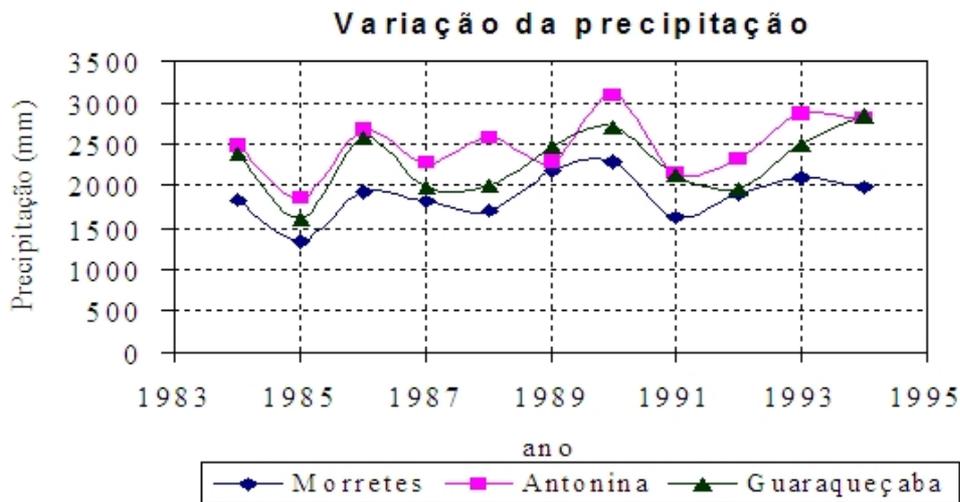


Figura 5.1.21: Variação da precipitação, médias anuais para Morretes, Antonina e Guaraqueçaba.

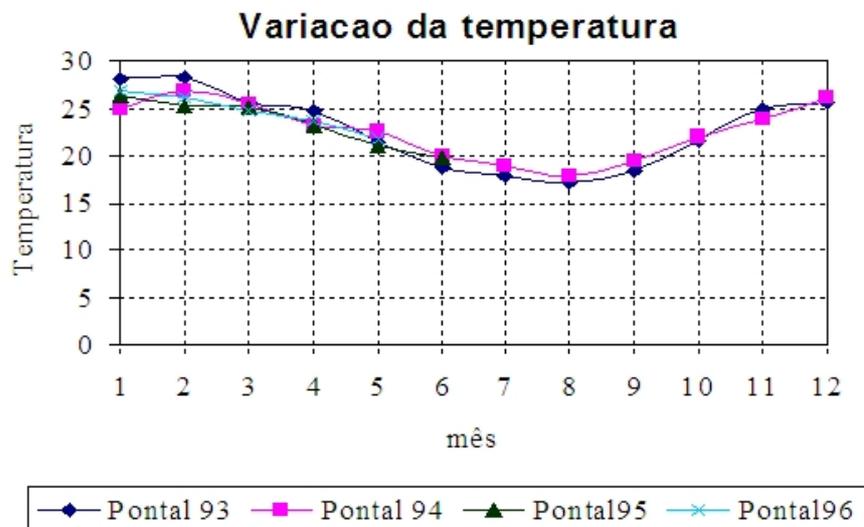


Figura 5.1.22: Variação da temperatura, médias mensais para Pontal nos anos de 1993, 1994, 1995 e 1996.

Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like 'H. Yang', 'R.S.', and others.

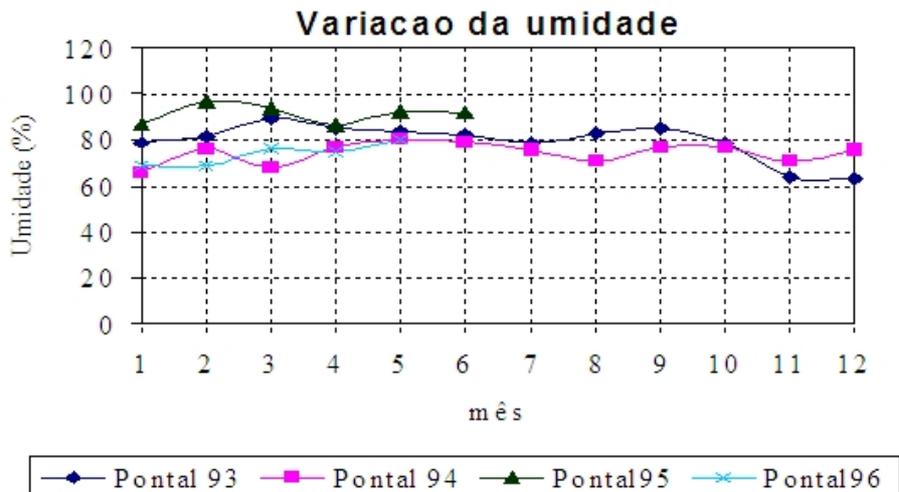


Figura 5.1.23: Variação da umidade, médias mensais para Pontal nos anos de 1993, 1994, 1995 e 1996.

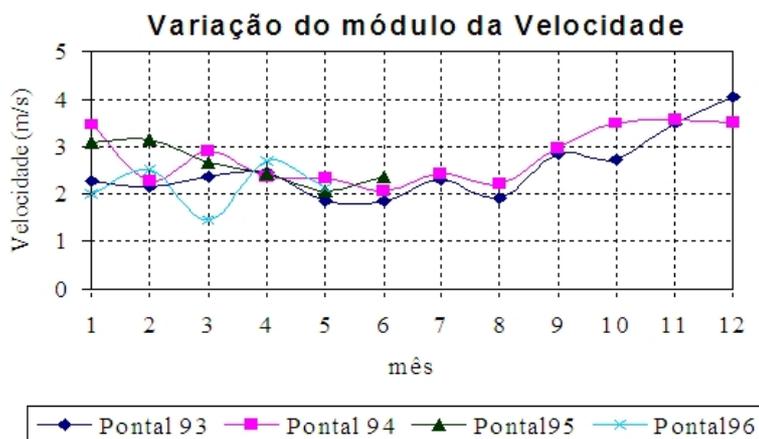


Figura 5.1.24: Variação do módulo da velocidade do vento, com médias mensais para Pontal nos anos de 1993, 1994, 1995 e 1996.

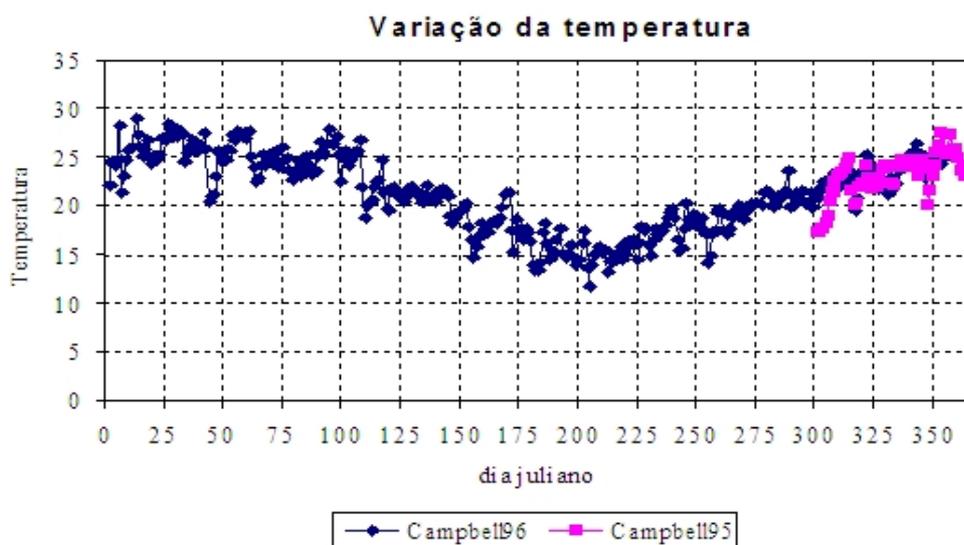


Figura 5.1.25: Variação da temperatura, médias diárias para Campbell no ano 1996.

Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like 'H. Yang', 'R.S.', and others.

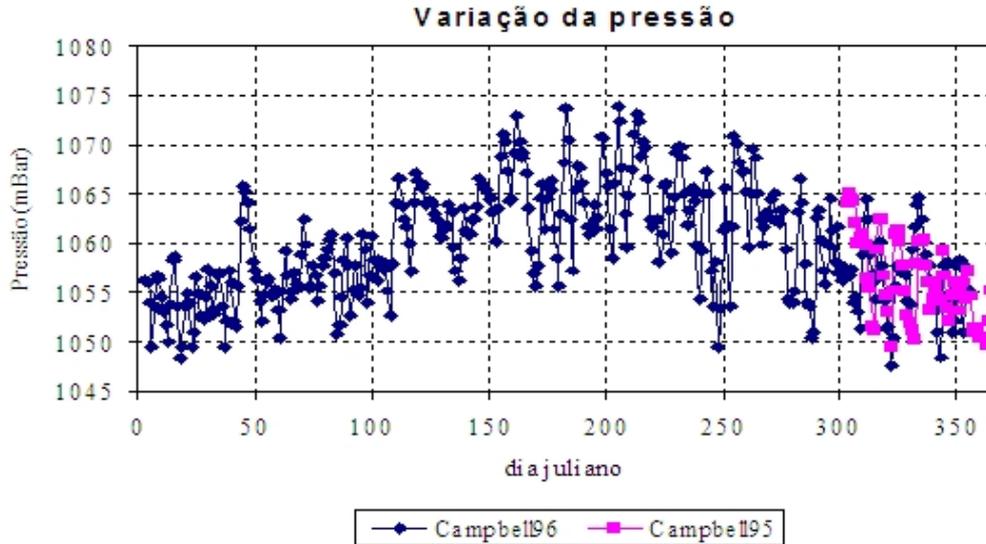


Figura 5.1.26: Variação da pressão atmosférica, médias diárias para a estação DNMET (Paranaguá) no ano de 1996.

A figura 5.1.27 apresenta a rosa dos ventos para os dados horários da estação do DNMET operada em Paranaguá, para o ano de 1996. Observam-se duas configurações predominantes de vento: o de Sudeste e o de Noroeste, correspondente às brisas marítimas durante o dia e durante a noite. Poucas componentes do vento foram observadas com direção norte e com direção sul.

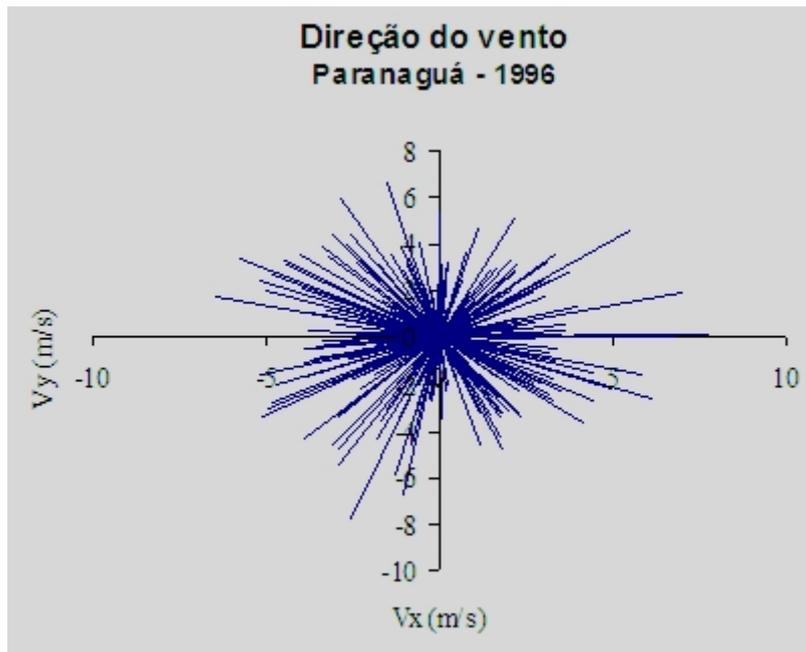


Figura 5.1.27: Representação da direção para onde o vento está soprando. Médias diárias para a estação DNMET (Paranaguá), em 1996.

### 5.1.3. Geologia

Na AII do empreendimento, isto é, na bacia hidrográfica da baía de Paranaguá e plataforma interna adjacente a geologia é composta por dois domínios geológicos

Handwritten signatures and initials on the right margin of the page.

principais: (a) as rochas cristalinas do escudo de idade pré-cambriana e (b) a cobertura sedimentar cenozóica.

### 5.1.3.1. O escudo

O escudo é composto principalmente por rochas ígneas e metamórficas de alto grau. Conforme trabalho de síntese sobre a geologia do estado do Paraná (Mineropar 1989) a All localiza-se no bloco costeiro da área de escudo. Nele, podem-se distinguir cinco unidades principais: (I) complexo granulítico Serra Negra do Arqueano; (II) complexo gnáissico migmatítico costeiro do Proterozóico Inferior, constituído principalmente por granitos gnáissicos e de anatexia e migmatitos; (III) suíte granítica folhada do Proterozóico inferior, constituída por granitos e granitóides embrechíticos; (IV) granitos e sieno-granitos, representados na área pelo granito do Alto Turvo de Proterozóico Superior e (V) granitos subalcalinos e alcalinos do Cambriano, representados pelos granitos Marumby, Graciosa, Anhangava, Serra da Igreja e Morro Redondo. Também ocorrem (VI) a Formação Guaratubinha de idade cambriana, composta por vulcanitos intermediários e ácidos e rochas sedimentares, tais como conglomerados, arcóseos, siltitos e argilitos e (VII) intrusivas básicas mesozóicas, principalmente diabásios e dioritos, que ocorrem sob a forma de um enxame de diques.

Com relação às estruturas geológicas da All os principais alinhamentos no embasamento são predominantemente de direção NE-SW. Na região de Paranaguá-Guaratuba, atingem orientação N20-30E até N-S. Ao norte da baía de Paranaguá, os alinhamentos mudam de direção para N50-60 E e, próximos à costa, fixam-se em N30-40E (Fuck *et al.* 1969). Dentre as estruturas regionais, destaca-se o Arco de Ponta Grossa (Almeida 1976). O arco é uma estrutura alongada, cujo eixo tem orientação NW. Durante o magmatismo mesozóico, devido ao intenso fraturamento distensivo, o arco se constituiu numa via preferencial de ascensão do magma. Isso é evidenciado pelo grande enxame de diques de rochas básicas (Almeida 1976, 1982).

Segundo Zalán & Oliveira (2005) a configuração geral da costa brasileira foi determinada pela abertura do Oceano Atlântico durante o Mesozóico. A costa do estado do Paraná localiza-se num amplo arco que vai de Cabo Frio, na latitude de 23°S até a ilha de Santa Catarina na latitude de 28°S. O arco corresponde à borda da bacia sedimentar de Santos que está definida pelos altos estruturais de Cabo Frio e Florianópolis. A bacia de Santos, que possui mais de 8 km de espessura de sedimentos foi alimentada pelo soerguimento da Serra do Mar, que seria um grande planalto criado entre 89 e 65 milhões de anos atrás (Zalán & Oliveira 2005). A existência de um grande planalto ao lado de uma bacia sedimentar subsidente originou instabilidade isostática dando início a colapsos gravitacionais há 58 milhões de anos (Zalán & Oliveira 2005). Nos 30 milhões de anos seguintes a crosta continental foi fraturada formando-se uma série de grabens e *horsts* paralelos à costa (Zalán & Oliveira 2005), que formam as características escarpas rochosas que limitam as planícies costeiras.

Com relação à neotectônica, Riccomini *et al.* (1989) se referem que no sistema de riftes da Serra do Mar ocorrem falhamentos de provável idade Pleistoceno Superior e Holoceno que, possivelmente, seriam ativas até o presente.

Handwritten signatures and initials on the right margin of the page, including names like 'H. Yang', 'R.S.', 'Almeida', 'Zalán', 'Oliveira', 'Riccomini', 'Fucks', 'Marumby', 'Graciosa', 'Anhangava', 'Serra da Igreja', 'Morro Redondo', 'Guaratubinha', 'Santos', 'Cabo Frio', 'Florianópolis', 'Zalán', 'Oliveira', 'Riccomini', 'Fucks', 'Marumby', 'Graciosa', 'Anhangava', 'Serra da Igreja', 'Morro Redondo', 'Guaratubinha', 'Santos', 'Cabo Frio', 'Florianópolis'.

### 5.1.3.2. A cobertura sedimentar

A cobertura sedimentar pode ser dividida na parte emersa e na parte submersa. Embora esta divisão seja arbitrária, ela se justifica, pois as técnicas de mapeamento e investigação utilizadas em áreas emersas e submersas são geralmente distintas.

O mapeamento geológico da cobertura sedimentar emersa vem sendo revisado e detalhado desde o trabalho pioneiro de Bigarella em 1946. Cartas geológicas para a região foram publicadas por Bigarella & Doubek (1963), Rivereau *et al.* (1969), Martin *et al.* (1988) e Angulo (1992). No último mapeamento geológico (Angulo 2004) foram reconhecidas unidades sedimentares continentais e costeiras. Dentre as continentais foram reconhecidas a Formação Alexandra do Mioceno Inferior e leques aluviais, tálus, colúvios e sedimentos fluviais do Quaternário. Dentre os costeiros a planície costeira com cordões litorâneos, dunas frontais, depressões intercordões, praias, planícies de maré, fundos rasos, deltas de maré e sedimentos paleoestuarinos, do Pleistoceno Superior e do Holoceno.

#### 5.1.3.2.1. Sedimentos continentais

Os principais depósitos de origem continental são os de leques aluviais e os fluviais. Os sedimentos de leques aluviais são caracterizados por cascalhos sustentados pela matriz com seixos e matacões de até vários metros de diâmetro e matriz areno-argilosa (Angulo 1992, 2004). Na parte distal dos leques, observam-se cascalhos sustentados pela matriz, correspondentes a fluxos de detritos, intercalados com cascalhos fluviais sustentados pelos seixos. Os sedimentos mais finos que compõem os leques são arcóseos argilosos e lamias correspondentes a fluxos de lama, com sedimentos predominantemente muito mal selecionados e muito assimétricos. As principais fácies sedimentares encontradas podem ser atribuídas a fluxos densos de lama e detritos e a fluxos trativos fluviais (Angulo 1992, 2004). As idades dos depósitos de leques aluviais vão desde o Mioceno Inferior (Formação Alexandra) até Holoceno. Os sedimentos fluviais são caracterizados por cascalhos clasto-suportados, areias e lamias. Os cascalhos e as areias correspondem a depósitos de canal e barras em pontal de rios meandранtes e os depósitos finos às planícies de inundação e meandros abandonados. A maioria destes depósitos é do Quaternário (Angulo 1992, 2004).

#### 5.1.3.2.2. Sedimentos costeiros

Os sedimentos das planícies costeiras com cordões litorâneos são de textura arenosa homogênea, predominando areias finas e muito finas, bem e muito bem selecionadas (Bigarella *et al.* 1978, Tessler & Suguio 1987, Angulo 1992, 2004). São sedimentos depositados em ambientes clásticos dominados por ondas. No Paraná foram identificados depósitos do Pleistoceno Tardio e Holoceno (Angulo 1992, 2004). Entre os cordões litorâneos da planície costeira, ocorrem depressões rasas, estreitas e alongadas, com largura inferior a 100 m e comprimento que pode atingir 13 km, denominadas brejos intercordão (Angulo 1992, 2004). Os sedimentos são arenosos com abundantes restos vegetais e matéria orgânica.

Os sedimentos paleoestuarinos apresentam predomínio de areias, ocorrendo também areias argilosas e siltsas e silte argilo-arenoso, sendo que os teores de silte e argila podem variar de 0% a 70%. Estes depósitos correspondem a áreas de antigos

Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like 'H. Yang', 'R.S.', 'Muller', 'Chapman', and others.

estuários, lagoas e manguezais, em épocas que o mar era mais alto que o atual, durante o Pleistoceno Tardio e o Holoceno (Angulo 1992, 2004).

Os sedimentos de planícies de maré são arenosos com teores variáveis de finos e matéria orgânica (Bigarella 1946, Silva *et al.* 1981, Martin & Suguio 1986, Martin *et al.* 1988, Lana & Guiss 1991).

Sobre a planície costeira ocorrem sedimentos arenosos de origem eólica na forma de dunas. Trata-se de cordões paralelos à linha de costa, com extensão de até 15 km (Angulo 1993). A largura dos cordões normalmente varia entre 20 m e 80 m, podendo alcançar mais de 250 m. Neste caso, geralmente trata-se da coalescência de dois ou mais cordões. Os cordões mais desenvolvidos ocorrem na parte sul do litoral paranaense, principalmente entre Matinhos e Pontal do Sul e na Ilha do Mel. A altura raramente ultrapassa 6 m sobre o nível da planície, sendo mais frequentes alturas de 3 m a 5 m (Angulo 1993). A morfologia dos cordões é variada. Muitas de suas feições podem ser apenas observadas em fotografias aéreas antigas, pois o processo de urbanização já as destruiu. No litoral sul, onde eram mais desenvolvidos, os cordões foram preservados em apenas alguns locais.

As praias do Paraná se estendem ao longo de todo o litoral de mar aberto por cerca de 90 km, desde a Barra do Ararapira, ao norte, até a Barra do Saí, ao sul. As praias paranaenses foram estudadas detalhadamente por Bigarella *et al.* (1966, 1969a, 1970/71). As praias são constituídas principalmente por areias finas e médias, bem selecionadas e com assimetria predominantemente negativa (Bigarella *et al.* 1969a).

Associadas às desembocaduras dos complexos estuarinos do litoral do estado do Paraná ocorrem feições deposicionais arenosas, resultantes da interação de processos marinhos e estuarinos, que têm sido referidas genericamente como baixios e bancos (Bigarella 1946, Bigarella *et al.* 1957, Bigarella & Doubeck 1963, Rivereau *et al.* 1968, Martin *et al.* 1988) e Angulo (1992, 1995, 1999) definiu como deltas de maré. Nas desembocaduras podem ocorrer dois tipos de delta: um em direção ao mar, denominado delta de maré vazante, e outro no interior do estuário ou laguna, denominado delta de maré enchente. Estas feições ocorrem associadas às desembocaduras dos complexos estuarinos do mar do Ararapira, baía de Paranaguá, canal do Superagüi e baía de Guaratuba. Segundo Angulo (1999) as feições associadas à desembocadura Sul da baía de Paranaguá, localizada entre Pontal do Sul e a Ilha do Mel, constituem o maior delta de maré do litoral paranaense. Neste delta é possível identificar, o lobo terminal, barras de espraiamento, canal de enchente marginal, canal de vazante principal e barra linear de margem de canal (Figuras 5.1.28 e 5.1.29). Também estão presentes os esporões que avançam em direção ao interior da baía. A dinâmica dos deltas de maré influencia fortemente a dinâmica das praias e das planícies costeiras próximas, incluindo a AID do empreendimento entre Ponta do Poço e Pontal do Sul.

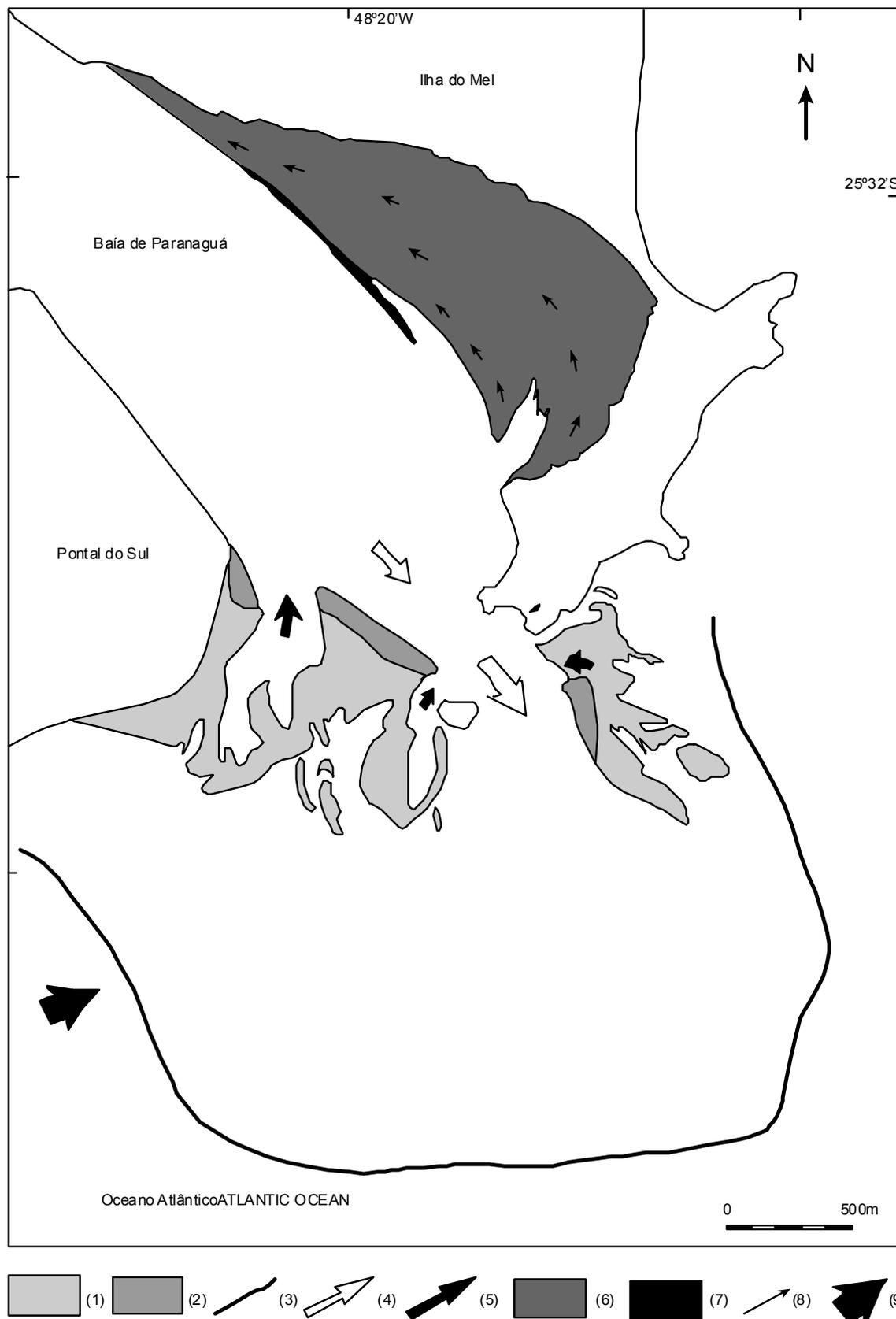
A origem e evolução da planície costeira e dos complexos estuarinos estão vinculadas à história das variações relativas do nível do mar durante, pelo menos, os últimos 120 000 anos. Trabalhos de investigação relativos a este tema foram efetuados por Bigarella (1946, 1971), Martin *et al.* (1988), Angulo (1992), Angulo & Suguio (1995),



Araújo & Lessa (1996) e Angulo & Lessa (1997). A altitude dos dois últimos níveis marinhos máximos transgressivos há 120 000 e 5 600 anos A.P., parecem ter alcançado cotas de + 8 m ( $\pm 2,0$  m) e de + 3,0 m ( $\pm 1,0$  m), respectivamente (Lessa *et al.* 2000 e Angulo *et al.* 2006b). É importante mencionar que a tendência regressiva contínua, do nível marinho nos últimos 5 600 anos, é responsável pela formação dos terrenos que constituem a ADA do TCPP.

As primeiras caracterizações dos sedimentos de fundo do complexo estuarino de Paranaguá foram realizadas por Bigarella *et al.* (1970, 1978) e complementadas posteriormente por Soares (1990), Soares & Barcelos (1995), Soares *et al.* (1996), Lamour (2000), Odreski (2002) e Carrilho (2003). Lamour *et al.* (2004) fizeram uma síntese dos dados de sedimentos de fundo publicados até então (Figuras 5.1.30 e 5.1.31).





A vertical column of handwritten signatures and initials is located on the right side of the page, including names like 'H. B. B.', 'J. P.', 'R. S.', and others.

**Figura 5.1.28: Modelos de deltas de maré na desembocadura Sul da Baía de Paranaguá. Delta de vazante (1) barras de espraimento e barras submersas; (2) barra de margem de canal; (3) lobo terminal; (4) canal de vazante principal; (5) canal de enchente marginal. Delta de enchente: (6) rampa de enchente; (7) esporão de vazante; (8) direção preferencial inferida de migração de ondas de areia. (9) direção inferida de deriva litorânea predominante (Angulo 1999).**



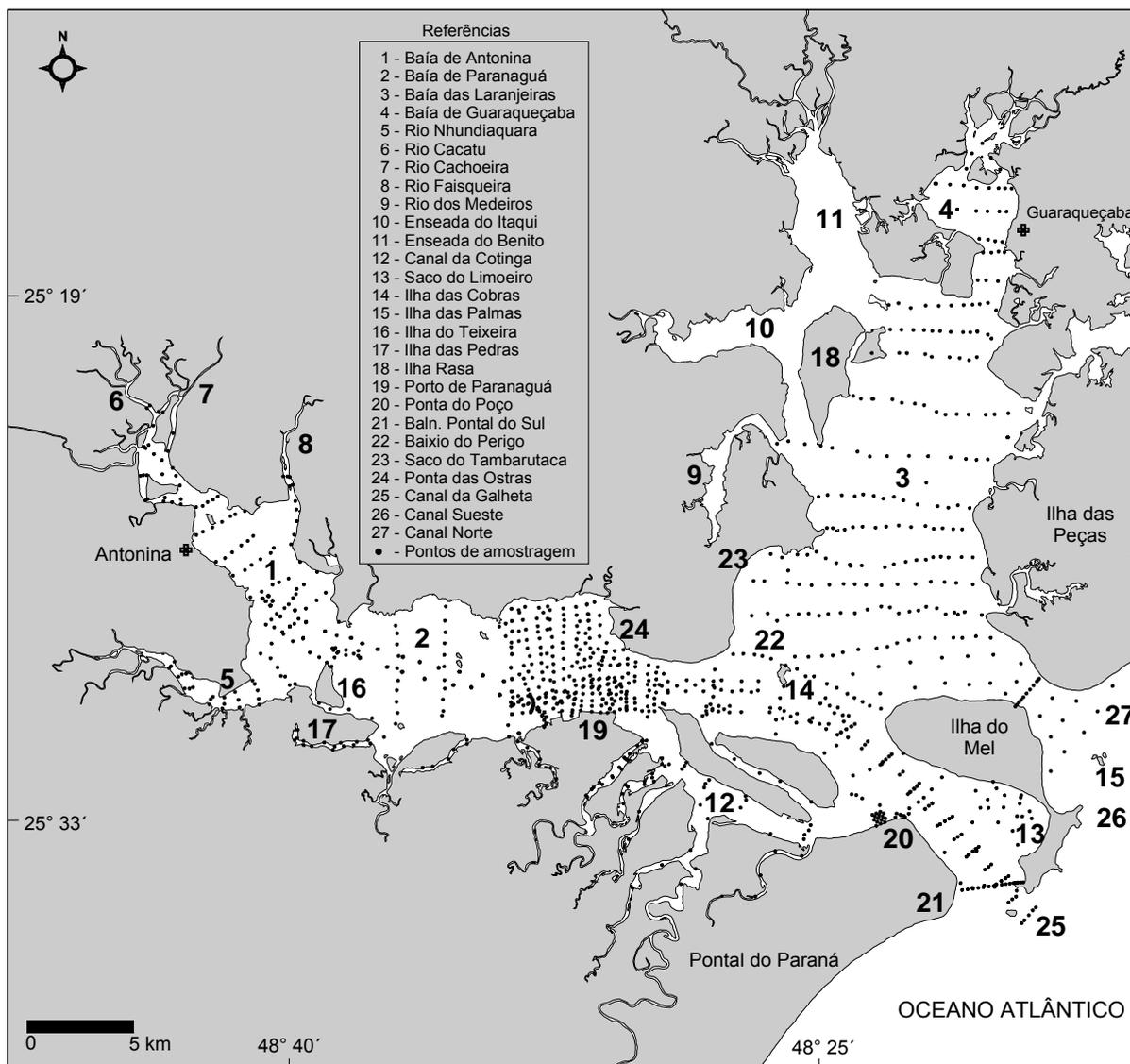
**Figura 5.1.29:** Imagem de Landsat 5 de 1999 onde se observam bancos e zonas de arrebentação correspondentes aos deltas de maré vazante associados às desembocaduras da baía de Paranaguá e Superagüi (Fonte: Angulo *et al.* 2006a, imagem processada pelo laboratório de Física Marinha do CEM/UFPR).

A análise da distribuição dos sedimentos da superfície de fundo da baía de Paranaguá evidencia uma distribuição tripartite típica de estuários em costas dominadas por ondas (Lessa *et al.* 1998). Segundo Lessa *et al.* (1998) sedimentos arenosos de origem fluvial se acumulam nas desembocaduras dos rios no estuário e formam deltas de cabeceira. Na parte central do estuário, de baixa energia, predominam as areias lamosas e as lamas arenosas e na parte externa do estuário, de alta energia, as areias de origem marinha. Segundo os mesmos autores as areias marinhas têm espessura de até 10 m, seriam sedimentos transgressivos sobrepostos às lamas regressivas.

Na parte externa do estuário predominam as areias finas e muito finas e na parte média e interna do estuário silte e areia muito fina. Já, nos deltas de cabeceira predomina a areia grossa e média (Figura 5.1.31).

Com relação ao grau de seleção na parte externa do estuário, os sedimentos variam de pobremente a muito bem selecionados, notando-se predominância de sedimento melhor selecionado na desembocadura sul da baía, principalmente associados ao seu canal principal, dominado por corrente de maré vazante (Figura 5.1.32). Na parte média do estuário predominam os sedimentos pobremente selecionados e muito pobremente selecionados. Já, nos deltas de cabeceira ocorrem sedimentos pobremente a moderadamente selecionados.

Handwritten signatures and initials on the right margin of the page.



**Figura 5.1.30: Distribuição dos 1 187 pontos de amostragem utilizados por Lamour *et al.* (2004) para a caracterização geral dos sedimentos de fundo no CEP.**

Na plataforma interna adjacente à desembocadura do estuário predominam as areias finas a muito fina, moderadamente a bem selecionadas. Nas áreas correspondentes aos deltas de maré vazante ocorrem areias finas e muito fina e no delta associado à desembocadura norte da baía ocorrem também areias médias e até grossas. Fora da área dos deltas, na plataforma interna predominam areias finas e muito finas (Figura 5.1.33). O grau de seleção varia desde muito pobremente selecionado até muito bem selecionados (Figura 5.1.34). Veiga *et al.* (2004), além das areias finas a muito finas dos deltas de maré vazante, reconheceram três tipos diferentes de sedimentos na plataforma interna paranaense: (a) areias muito finas com teores de finos entre 10 e 40%, que ocorrem próximo à costa entre as profundidades de 5 e 10 m; (b) areias finas bem selecionadas que ocorrem entre as profundidades de 10 e 15 m e, (c) areias médias e grossas que ocorrem entre 10 e 14 m de profundidade, que foram caracterizadas como palimpsésticas e interpretadas como depositadas em antigas praias, hoje submersas.

[Handwritten signatures and initials on the right margin of the page]

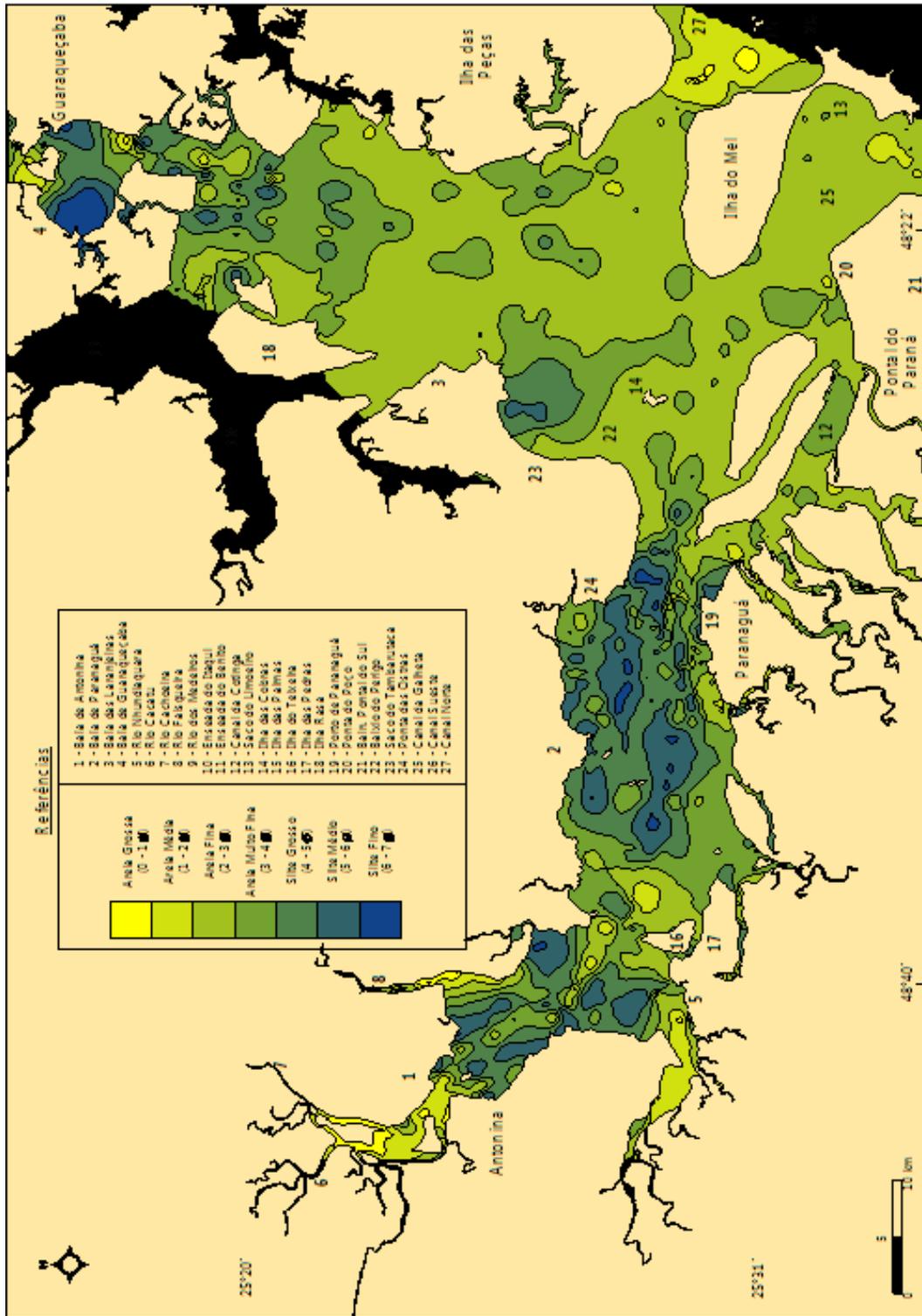


Figura 5.1.31: Distribuição dos valores do diâmetro médio dos sedimentos de fundo do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), abrangendo 1 187 amostras (escala Phi). (Lamour et al. 2004).

A vertical column of approximately 20 handwritten signatures and initials is located on the right side of the page.

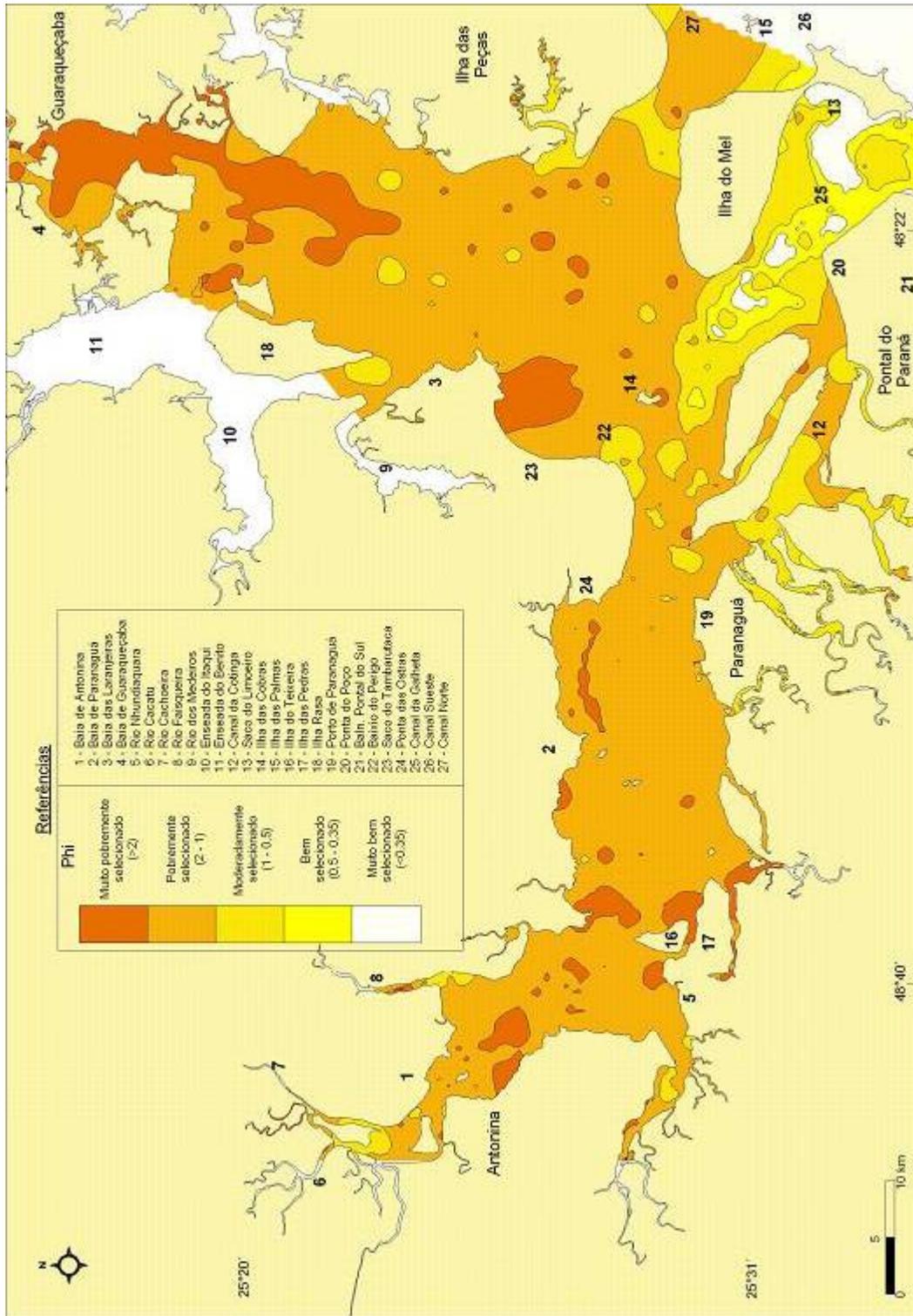
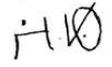
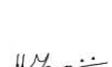


Figura 5.1.32: Distribuição do grau de seleção granulométrica no complexo estuarino de Paranaguá (Lamour *et al.* 2004).



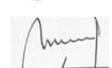
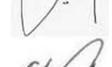
















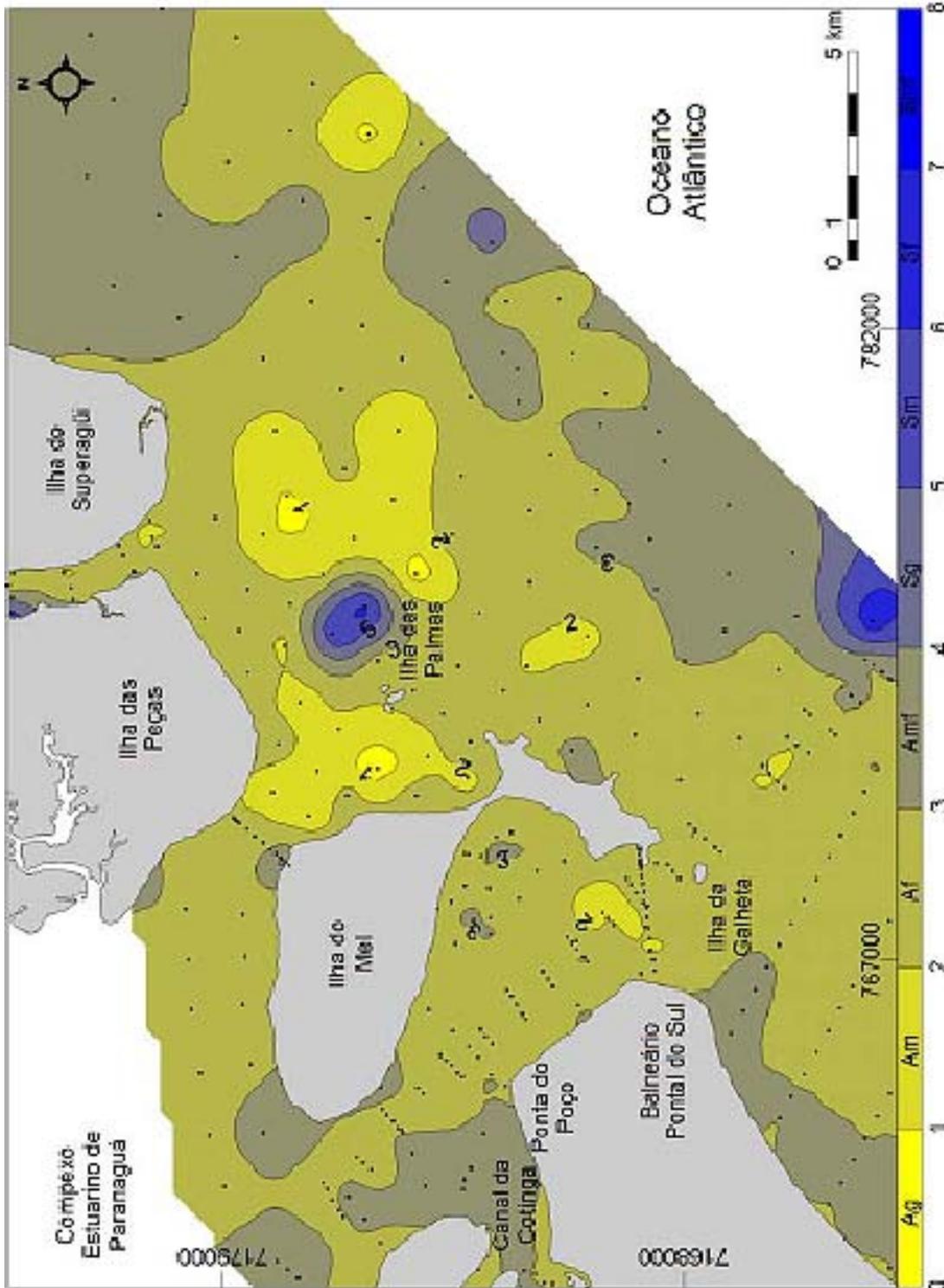
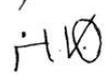
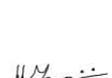
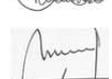
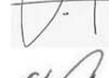



Figura 5.1.33: Distribuição dos valores de diâmetro médio ( $\emptyset$ ) dos sedimentos de fundo na adjacência da desembocadura do complexo estuarino de Paranaguá. Ag – Areia grossa; Am – Areia média; Af – Areia fina; Amf – Areia muito fina; Sg - Silte grosso; Sm – Silte médio; Sf – Silte muito fino e Smf – Silte muito fino (Lamour 2007).

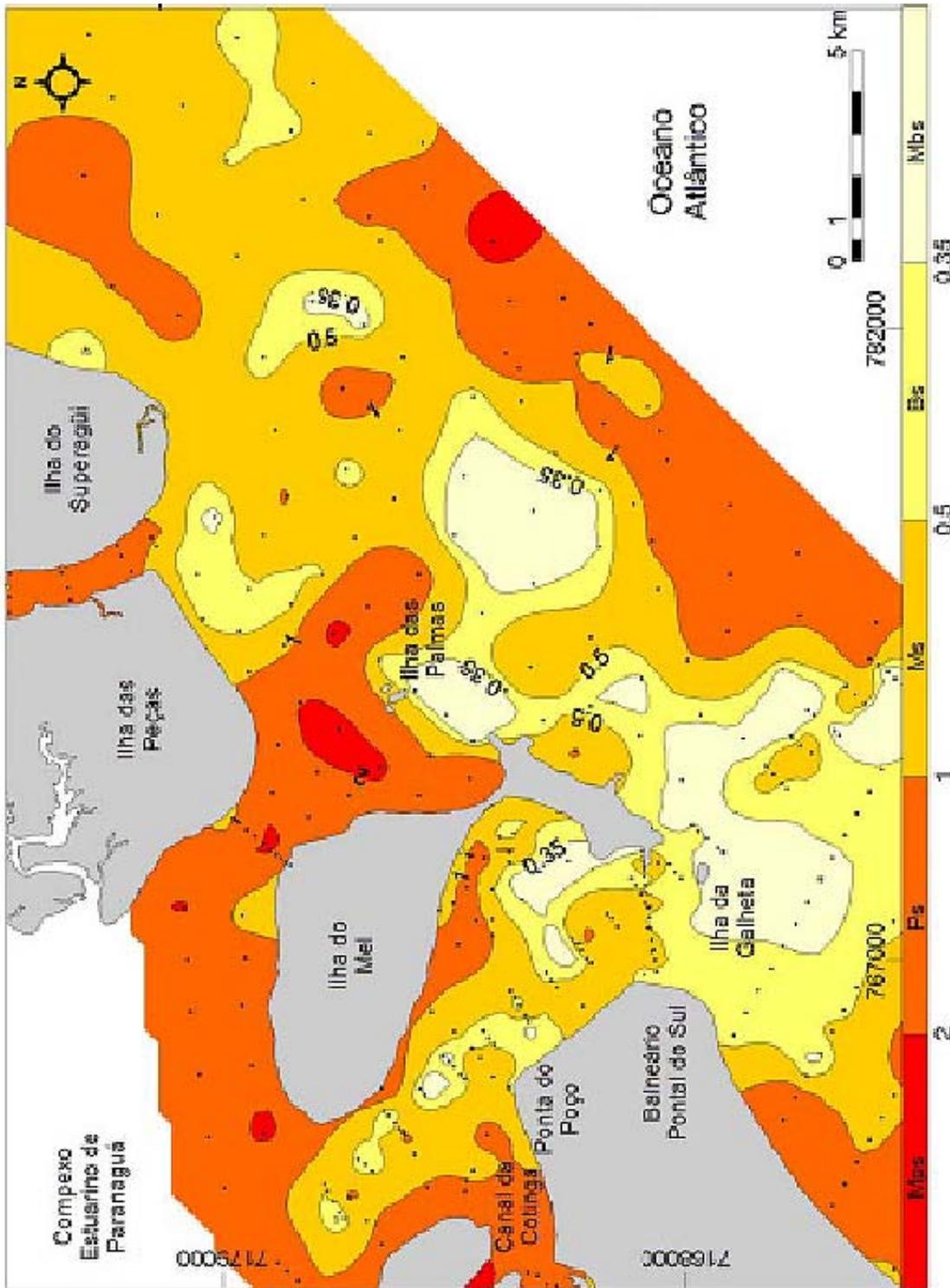
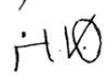
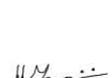
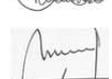
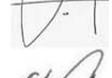



Figura 5.1.34: Distribuição dos valores de grau de seleção dos sedimentos de fundo na adjacência da desembocadura do complexo estuarino de Paranaguá. Mps – Muito pobremente selecionados; Ps – Pobremente selecionados; Ms – Moderadamente selecionados; Bs – Bem selecionados, e Mbs – Muito bem selecionados (Lamour 2007)




Ao longo da AID também ocorre uma estreita faixa, de praias estuarinas, formadas por areia fina e muito fina (Figura 5.1.37). Também ocorre uma área rasa, que emerge durante as baixa-mares, que pelas suas características sedimentológicas e morfológicas pode ser definida como uma planície arenosa intermaré (*sand flat*) (Figura 5.1.38). Esta área é constituída por sedimentos predominantemente arenosos com teores subordinados de finos e matéria orgânica. Sua dinâmica é dominada por ondas e marés o que a diferencia das planícies de maré típicas, que têm sua dinâmica dominada apenas pelas marés.

A ADA se caracteriza na parte emersa por um setor da planície costeira com cordões litorâneos. Em superfície a planície é composta por areia fina a muito fina. Em subsuperfície as sondagens geotécnicas evidenciaram o predomínio de areia fina a muito fina com teores subordinados de silte e intercalações de argila orgânica de até 4,5 m de espessura (Figura 5.1.36).

A costa é caracterizada por uma estreita praia estuarina com areia fina a muito fina que se estende ao longo da área do empreendimento, exceto onde existe um cais longitudinal (Figura 5.1.39). Entre a Ponta da Coroazinha e o limite sul do TCPP ocorre uma planície arenosa intermaré (Figura 5.1.40).

A Ponta da Coroazinha, localizada no extremo nordeste da área do TCPP, pode ser considerada o limite entre as costas estuarinas dominadas por marés e correntes de maré e as costas com influência de desembocaduras, dominadas por ondas e correntes de maré. Assim, a costa do TCPP pode ser dividida em dois setores principais. Um estuarino a oeste da Ponta da Coroazinha e um com influência da desembocadura da baía de Paranaguá a sul da ponta (Figura 5.1.41).

A costa a oeste da Ponta da Coroazinha tem orientação nordeste (N67°E), apresenta dinâmica dominada por marés e correntes de maré. Caracteriza-se por uma costa estreita com pequenas falésias de praia e uma praia estreita de menos de 20 m. Nesta costa não foram observadas grandes modificações da costa nas últimas décadas. Atualmente existe um cais longitudinal de concreto de 84 m de extensão, construído nos anos de 1981 e 1982 (Figura 5.1.42). Esta obra não tem causado modificações significativas no traçado da costa, como pode ser verificado comparando as fotografias aéreas de 1953, 1980, 1997 e 2003 (Figura 5.1.43).

A costa a sul da Ponta do Coroazinha tem orientação sudeste (S38°E) e possui dinâmica dominada por correntes de maré e ondas. Neste setor as ondas de longo período (ondulação ou *swell*) que adentram pela desembocadura sul da baía de Paranaguá têm ação sobre a costa formando uma corrente de deriva longitudinal em direção ao interior do estuário. Esta costa sofreu importantes modificações decorrentes de duas intervenções: (a) a construção de um canal de drenagem, denominado localmente de canal do DNOS e, (b) a construção de um píer transversal à costa, conhecido com píer da Techint (Figura 5.1.43).



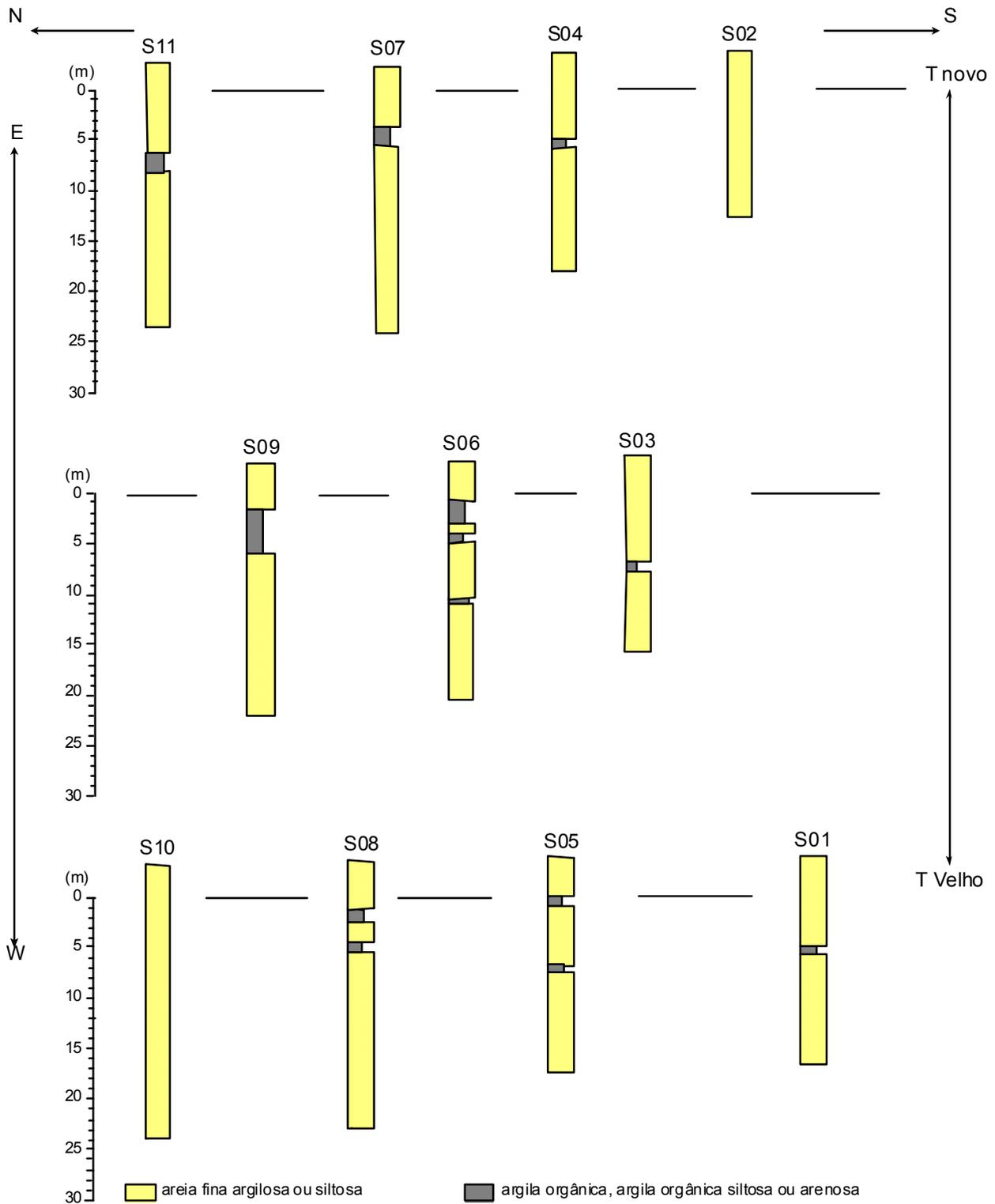


Figura 5.1.36: Perfis esquemáticos das sondagens geotécnicas em terra na ADA do TCPP (para mais detalhes ver as descrições de campo das sondagens no Anexo 2-X)



Figura 5.1.37: Visa parcial da praia estuarina na área do empreendimento.



Figura 5.1.38: Fotografia aérea oblíqua da área do empreendimento onde pode ser observada a praia estuarina.



Figura 5.1.39: Praia estuarina ao longo da área do empreendimento

*[Handwritten signatures]*



Figura 5.1.40: Planície arenosa intermaré entre o TCCP e a Ponta da Coroazinha (Foto de 1994)

[Handwritten signatures and initials]



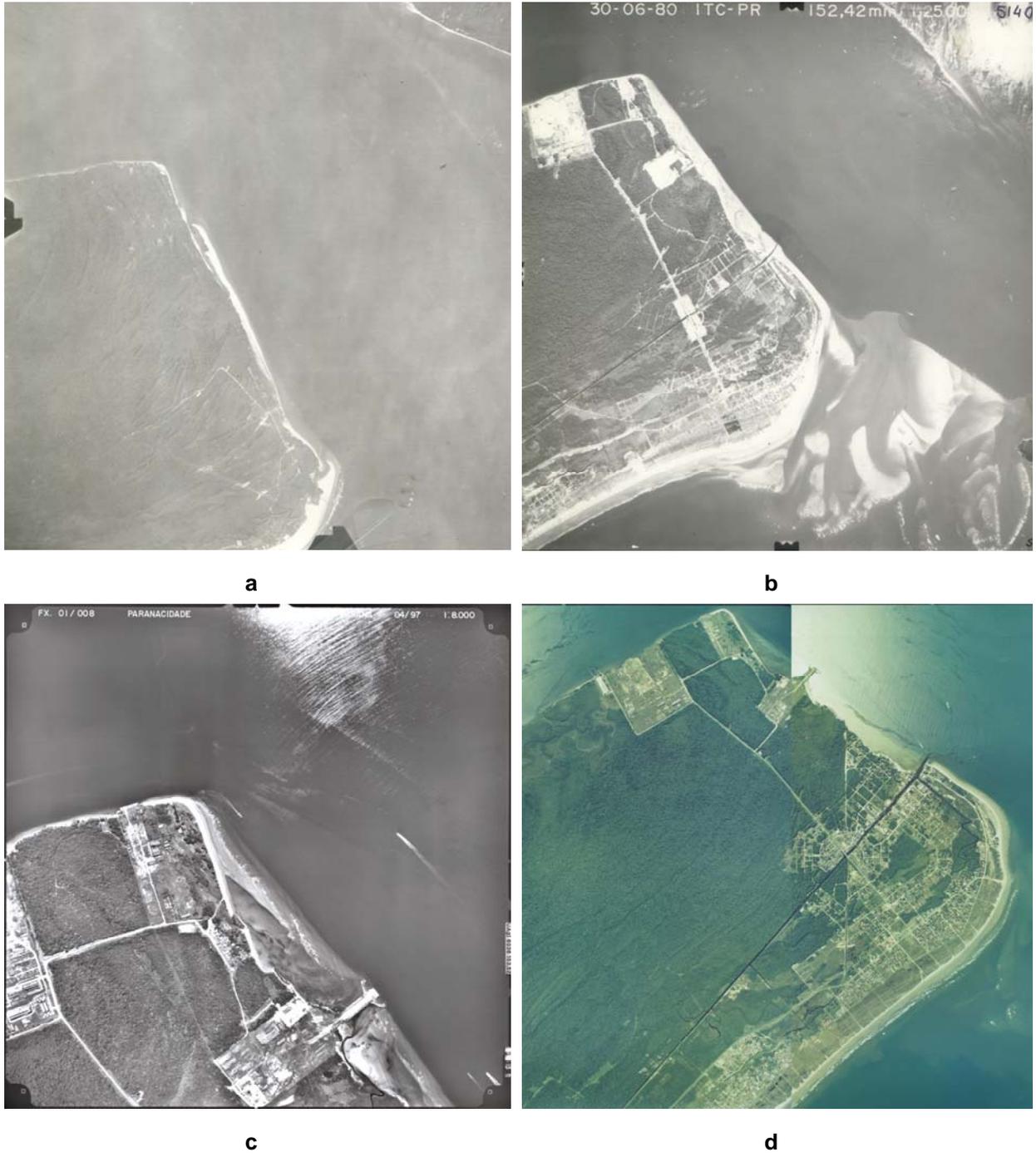
Figura 5.1.41: Fotografia aérea de 1953 da área de ponta do Poço.

[Handwritten signatures and initials]



Figura 5.1.42: Fotografia aérea oblíqua de 1994 da área do empreendimento onde pode ser observado o cais construído em 1981 e 1982.

*[Handwritten signatures and initials]*

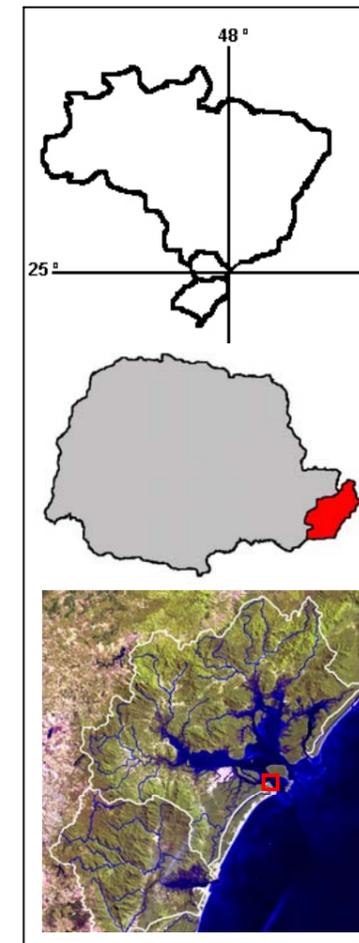
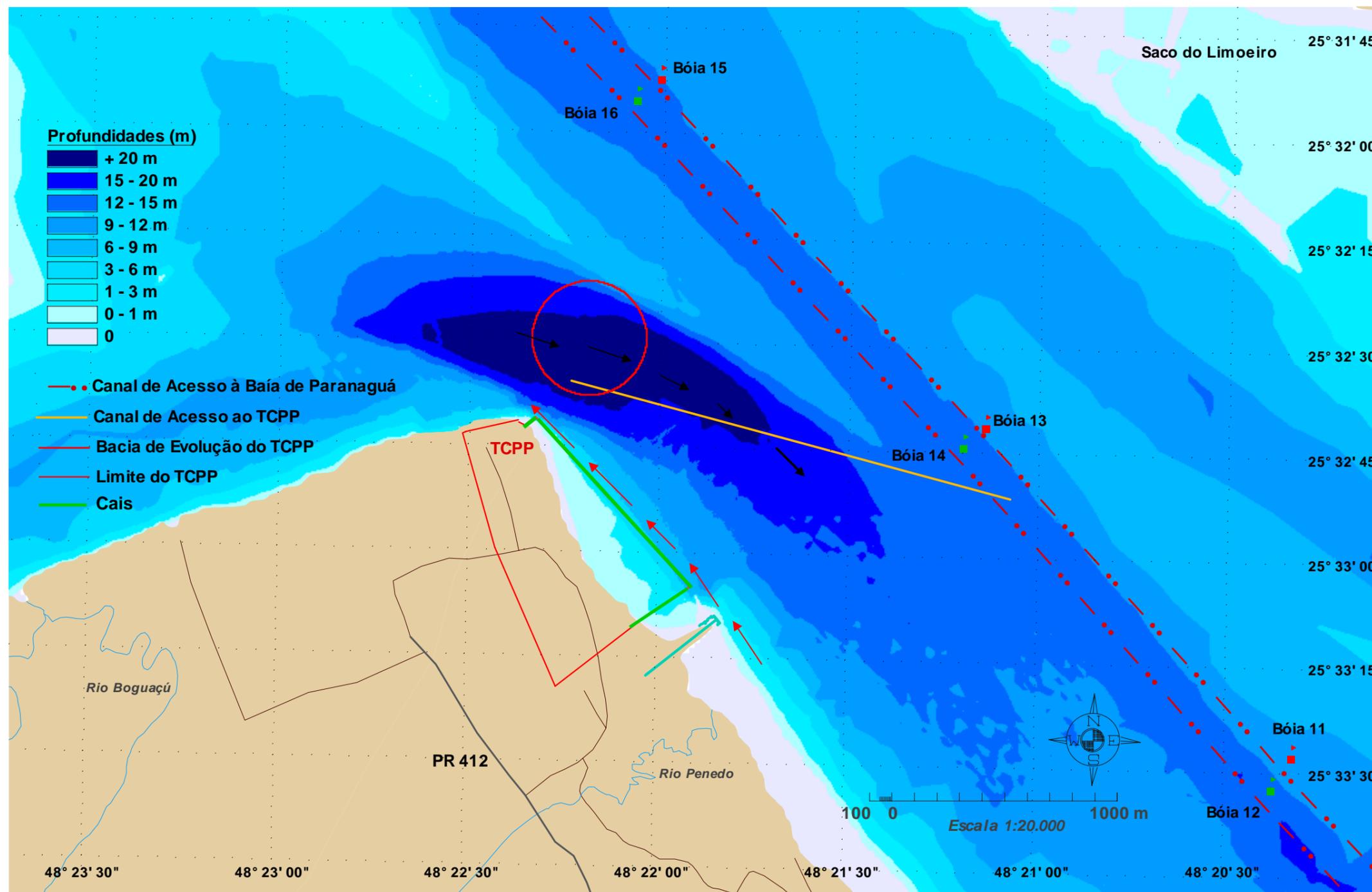


**Figura 5.1.43: Fotografias aéreas verticais de (a) 1953, (b) 1980, (c) 1997 e (d) 2003 da costa entre Pontal do Sul e Ponta do Poço, que evidenciam as mudanças morfológicas ocorridas no período, decorrentes da construção do canal do DNOS, guia-corrente e píer transversal da Techint.**

Anteriormente às obras, nos anos 50, existiam ao longo da costa esporões arenosos que migravam para o interior do estuário, que evidenciavam o predomínio das correntes de deriva longitudinal geradas por ondas, nessa direção (Figura 5.1.43a). A morfologia dos esporões permite inferir que o transporte de sedimentos predominantes ao longo da costa era preferencialmente em direção ao estuário entre Pontal do Sul e a Ponta do Corozinha. Já a batimetria, associada ao predomínio das correntes de maré

vazante, sugere que, ultrapassado este limite os sedimentos seriam transportados em direção ao canal da Cotinga e neste canal em direção ao canal principal de vazante (Canal da Galheta) e deste em direção à plataforma (Figura 5.1.44). A construção do canal do DNOS, nos anos 60 do século passado, provocou a alteração desta configuração. A velocidade do fluxo do canal, sobretudo durante as marés vazantes, provavelmente era maior que a da corrente de deriva longitudinal, provocando um efeito conhecido como molhe hidráulico, onde o fluxo mais rápido age com uma barreira interrompendo o fluxo mais fraco. Deste modo, os sedimentos transportados pela corrente de deriva longitudinal foram sendo depositados progressivamente a montante do canal do DNOS, causando a progradação da costa. A jusante do canal, isto é em direção ao interior do estuário, estabeleceu-se um intenso processo erosivo, que ocasionou o recuo da linha de costa (Figura 5.1.45). O processo de interrupção da deriva foi intensificado pela a construção de um guia-corrente em rocha, cujo objetivo era impedir o assoreamento da desembocadura do canal do DNOS (Figura 5.1.46). A posterior construção do píer transversal da Techint gerou um novo obstáculo para a deriva litorânea em direção ao estuário intensificando o processo erosivo a jusante, ou seja, em direção à área do TCPP (Figura 5.1.43c). Deste modo, o processo erosivo na costa do TCPP se caracterizou por um intenso recuo da costa com a formação de uma praia estuarina e uma pequena falésia que marca o limite da erosão da planície costeira (Figura 5.1.47). O recuo da costa deixou traz de si uma planície arenosa intermaré (Figuras 5.1.43b e 5.1.48).

*[Handwritten signatures and initials]*



 <p>AMB Planejamento Ambiental e Biotecnologia Ltda</p>	 <p>Portal do Paraná Importação e Exportação Ltda</p>	
<p>Coordenador Geral Rodolfo José Angulo</p>	<p>Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental para o Terminal de Contêineres de Ponta do Paraná</p>	<p>Data jun/2007</p>
<p>Geoprocessamento Maria Cristina de Souza Mauricio Almeida</p>	<p>Figura 5.1.44: Batimetria da área com a direção inferida de transporte de sedimentos pelas correntes geradas por onda (entra – setas vermelhas) e pelas correntes de maré (sai – setas pretas).</p>	<p>Escala 1:20.000</p>



Figura 5.1.45: Fotografia aérea vertical de 1953, escala 1:30 000 (anterior à construção do canal do DNOS) com indicação da linha de costa em 1980 (linha em vermelho) (mais de uma década após a construção do canal do DNOS). Notar o recuo da linha de costa no período.



a



b

Figura 5.1.46: Fotografias do guia-corrente em rocha construído no anos 90 para evitar o assoreamento da foz do canal do DNOS. Vista de sul (a), vista desde o guia-corrente em direção ao canal do DNOS (b).

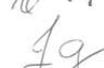
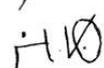
A vertical column of approximately 20 handwritten signatures and initials, including names like 'H. H. H.', 'J. J.', 'R. S.', and 'M. M.', arranged vertically on the right side of the page.

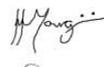
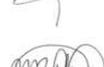
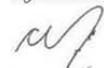
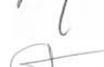


**Figura 5.1.47: Falésia resultante do processo erosivo da planície costeira.**

Na parte do estuário correspondente á AID os sedimentos superficiais predominantes são areias bem selecionadas características do setor externo de estuário onde as correntes de maré são suficientemente enérgicas como para remover os sedimentos finos. Segundo Lessa *et al.* (1998) estas areias correspondem às areias transgressivas e são provenientes da plataforma.

Os perfis das sondagens geotécnicas permitem identificar três unidades, duas arenosas e uma argilosa (Figura 5.1.49 e Anexo 2-XI). A unidade arenosa inferior ocorre entre 28-30 m de profundidade até o limite das sondagens (35,5 m), é constituída por areia fina compacta. A unidade arenosa superior tem espessura de até 19 m e ocorre entre a superfície de fundo do estuário (com profundidades entre 7 e 10 m) até 25-26 m na base de profundidade. A unidade argilosa orgânica tem espessura de 2 a 3 m e ocorre entre profundidades de 25-26 m no topo até 28-30 m na base (Figura 5.1.49). De acordo com a cronologia, estratigrafia e evolução das barreiras paranaenses propostas por Lessa *et al.* (2000) e Souza (2005) é possível correlacionar a unidade arenosa superior a sedimentos de preenchimento de canal estuarino e esporões sobrepostos do Holoceno. A unidade argilosa poderia corresponder a depósitos lagunares e a unidade arenosa inferior a uma barreira costeira, sendo que ambas provavelmente são do Pleistoceno.

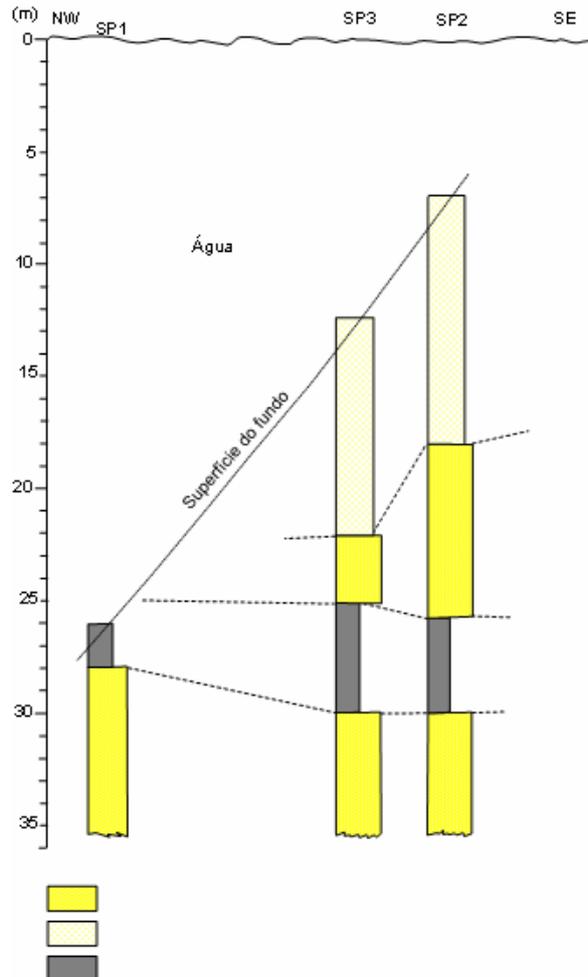
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  




**Figura 5.1.48: Vistas aéreas oblíquas da planície de maré arenosa (*sand flat*) formada durante o processo erosivo da costa na área. (Acima) fotografia de 12 de julho de 1994 obtida durante maré baixa de sizígia onde se observa quase toda a planície de maré arenosa e (embaixo) fotografia aérea de 2007 onde se observa apenas a parte mais alta da planície de maré arenosa.**

Na parte mais profunda do estuário na AID, ao nordeste da ponta do Poço, onde a profundidade alcança 27 m, ocorre uma área com sedimentos argilosos (Figura 5.1.49). Nos perfis das sondagens submersas observa-se que uma camada de lama orgânica cinza escura ocorre entre as profundidades entre 25,5 m e 30 m em relação ao nível do estuário, aflorando nas áreas de maior profundidade (Figura 5.1.49). Ou seja, a lama teria sido depositada no passado, provavelmente no Pleistoceno Tardio, posteriormente soterrada pelos sedimentos arenosos e no presente a camada de lama estaria aflorando no fundo do estuário por escavação, constituindo uma janela estratigráfica. Esta distinção é importante porque evidencia que o sedimento de fundo não representa as condições hidrodinâmicas do local.

A list of handwritten signatures and initials is located on the right side of the page, including names like 'H. Yang', 'R. S.', 'M. L.', 'J.', and others.



**Figura 5.1.49: Perfis esquemáticos das sondagens geotécnicas na parte submersa da ADA do TCPP (para mais detalhes ver as descrições de campo das sondagens no Anexo 2-XI)**

Os sedimentos da superfície de fundo da AID são constituídos principalmente por areia fina (0,125 a 0,250 mm). Próximo à costa na planície de maré arenosa predominam as areias muito finas e finas (0,062 a 0,250 mm). Numa área próxima ao canal ocorrem areias mal selecionadas com abundantes fragmentos de conchas (amostra P15, figuras 5.1.2 e 5.1.50). Em um ponto de amostragem (P06) foi obtida uma amostra de areia fina argilosa com matéria orgânica que provavelmente corresponde ao afloramento por escavação das camadas areno-argilosas descritas nas sondagens geotécnicas a profundidades equivalentes (Figura 5.1.36).

O grau de seleção dos sedimentos varia de moderadamente a bem selecionado, com ocorrências isoladas de sedimentos pobremente e muito pobremente selecionados. Os teores de finos são inferiores a 20%. Apenas na amostra P06, interpretada como sedimento antigo aflorante no fundo do estuário o teor de finos alcançou 37%.

*[Handwritten signatures and initials on the right margin]*

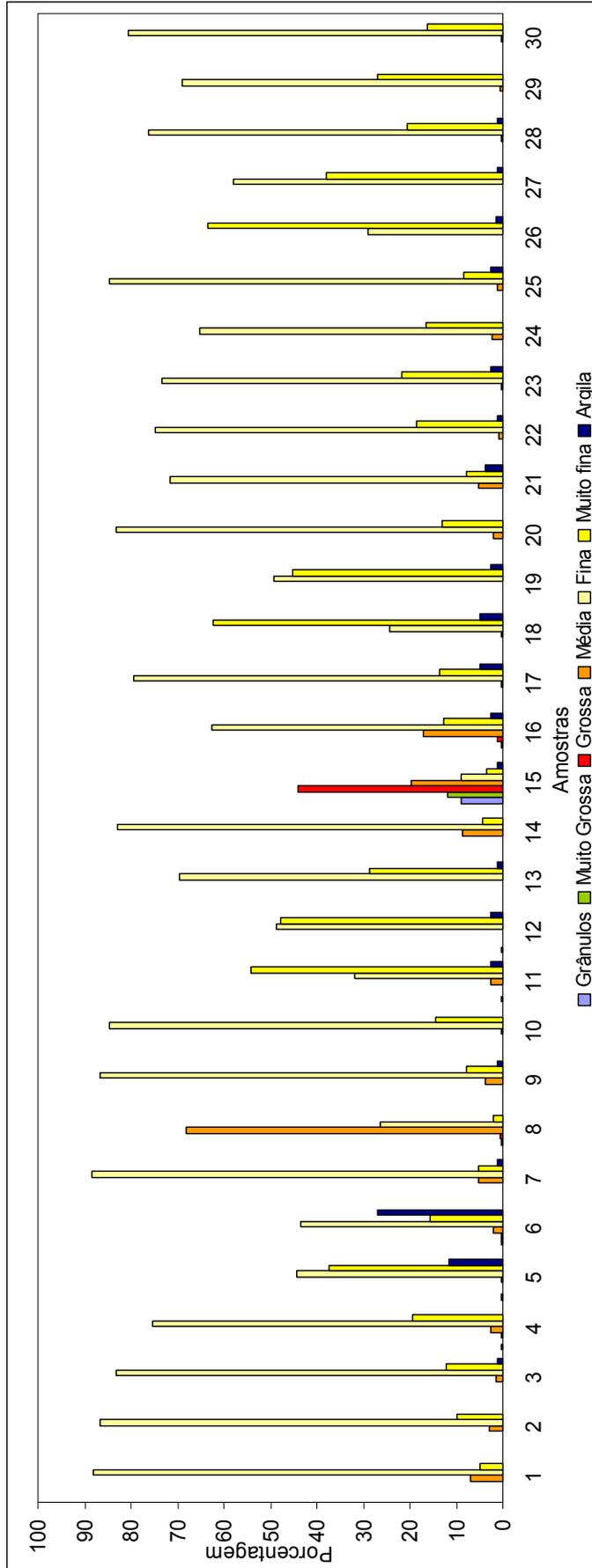
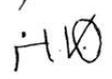
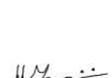
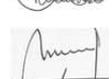
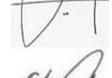
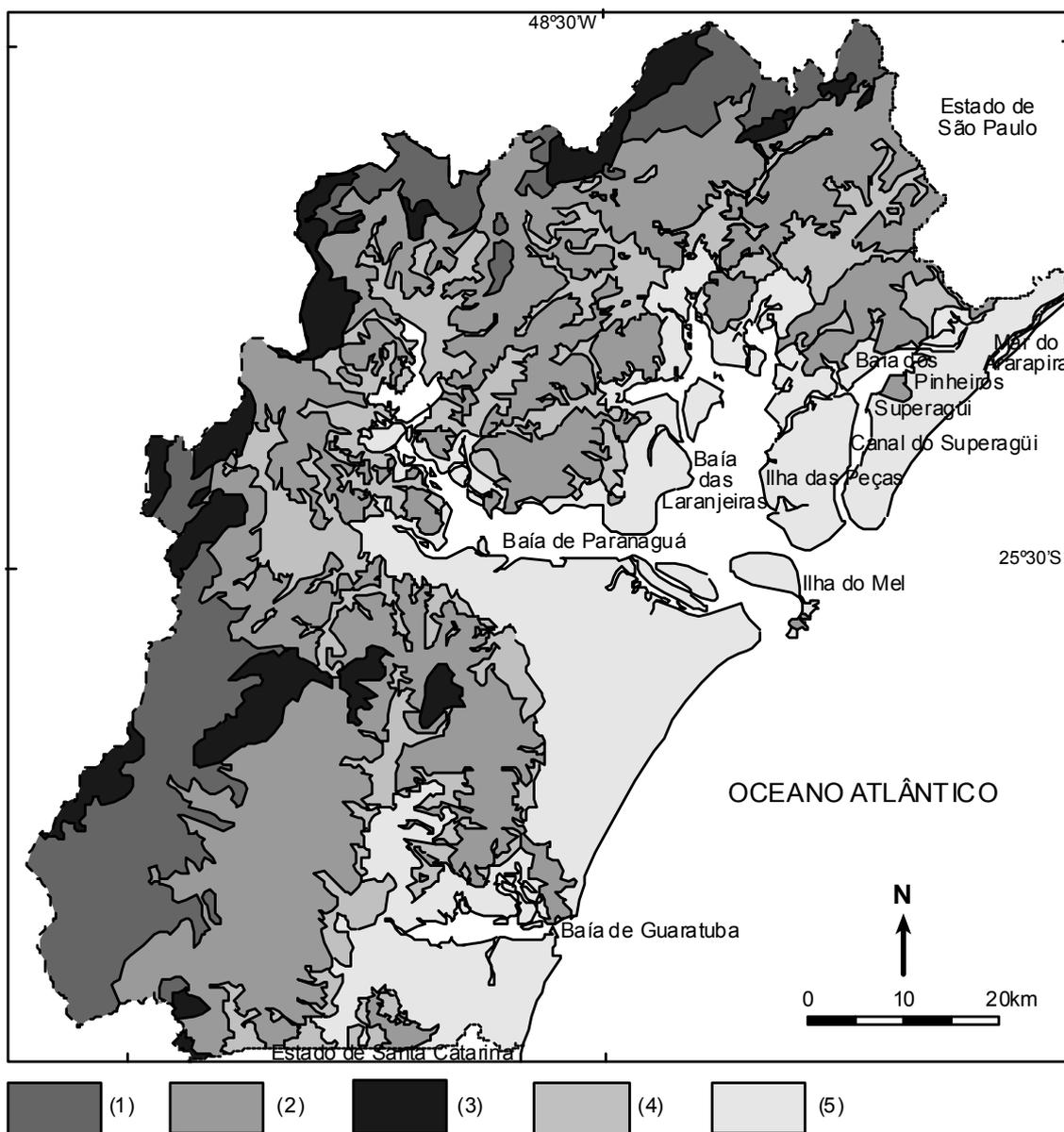


Figura 5.1.50: Figura histograma composição granulométrica sem seixo e pelitos totais



**Figura 5.1.51: Localização e principais unidades geomorfológicas da região litorânea do Paraná. (1) planaltos; (2) serras originadas por dissecação de borda de planalto; (3) serras originadas por erosão diferencial; (4) tálus, leques aluviais e planícies aluviais; (5) planície costeira.**

### 5.1.5. Pedologia

#### 5.1.5.1. Características agronômicas

##### 5.1.5.1.1. Classificação de solos

Os solos predominantes da AII, que correspondem aos que ocorrem na planície costeira arenosa com cordões litorâneos são os Espodossolos. Na partes mais baixas desta planície, principalmente nas depressões intercórdão ocorrem Gleissolos e em alguns setores Neossolos Quartzarênico (Embrapa/IAPAR 1977, Pró-Atlântica 2002). Nas planícies aluviais dos rios ocorrem Neossolos Flúvicos e Cambissolos. Nas planícies de maré com manguezais ocorrem os Gleissolos.



## 5.1.6. Recursos hídricos

### 5.1.6.1. Hidrologia e hidrogeologia

#### 5.1.6.1.1. O contexto hídrico regional

##### 5.1.6.1.1.1. Fatores climáticos

A região da planície litorânea paranaense está submetida a um clima tropical superúmido sem estação seca e com uma temperatura média superior a 18°C, segundo a classificação de Koëppen. A precipitação do mês mais seco é superior a 60 mm e isento de geadas (IAPAR 1994).

Chuvas do tipo ciclônico, que podem permanecer por várias horas e mesmo por diversos dias, controlam a dinâmica das chuvas durante o inverno. A fisiografia da vertente atlântica induz a importantes chuvas de convecção ou as orográficas, que conferem àquela região uma pluviosidade bem mais elevada do que nas outras regiões do Estado. (IAPAR 1994, ITCF 1990). As precipitações na planície litorânea têm sido da ordem de 2 500 mm anuais.

A maior frequência e volume de chuvas ocorrem no verão, quando as precipitações máximas em 24 h variam entre 50 e 400 mm, sendo 100 mm na média. O número máximo de dias de chuva durante o ano foi de 286 na estação Costão e na estação Véu de Noiva, em um período de oito anos, a média foi de 221 dias. A despeito de variações entre as estações da planície litorânea, na maioria delas ocorreram mais de 170 dias de chuva distribuídos durante o ano.

Os excedentes hídricos anuais são superiores a 500 mm (IAPAR 1994). Em análise de dados históricos no período de oito anos considerado, observou-se que ocorreram pequenos déficits hídricos em Paranaguá em julho-agosto e em dezembro. Por outro lado, os 100 mm de excedente mensal foram ultrapassados por várias vezes, atingindo em janeiro em Guaraqueçaba, médias mensais superiores a 250 mm. Esta pluviosidade está distribuída durante o ano e induziu uma densa rede de drenagem nas porções da região que possuem solos com elevados conteúdos em argila.

##### 5.1.6.1.1.2. Os corpos de água continentais

Os corpos de água continentais significativos na vertente atlântica paranaense são formados por rios, lagoas e aquíferos. A estes pode-se acrescentar as cavas inativas formadas pela exploração de areia e canais artificiais.

Na região da Baía de Paranaguá dentre os estudos sobre o manancial subsuperficial se destacam o diagnóstico realizado no Parque do Perequê (CEM 2002), o Estudo de Impacto Ambiental de uma usina termelétrica no Embocuí, cercanias da cidade de Paranaguá (FUNPAR 1997) o estudo de impacto ambiental da Cattalini Terminais Marítimos em Paranaguá (GEA 1989), uma tese de doutorado sobre os recursos hídricos da região litorânea (Giusti 1996) e pesquisas desenvolvidas na Ilha dos Valadares (Rosa Filho *et al.* 2002, Babu *et al.* 2002, Hindi *et al.* 2003). Destes trabalhos se extraiu informações sobre características químicas de águas subterrâneas do aquífero costeiro na região, assim como de influências de maré nas águas subsuperficiais no limite entre oceano/estuário e aquífero livre.



**5.1.6.1.1.3. A rede hidrográfica**

A rede hidrográfica da região é composta pelos rios Guaraqueçaba, Serra Negra, Tagaçaba, Cachoeira, Nhundiaquara, Guaraguaçu, afluentes da Baía de Paranaguá e pelos rios Cubatão e São João, que afluem à Baía de Guaratuba (Figura 5.1.53) Além destes rios existem vários outros abrangendo áreas bem menores, que adentram diretamente o oceano.



**Figura 5.1.53: Situação dos objetos de interesse para este estudo na rede hidrográfica da vertente atlântica paranaense.**

A área serrana da vertente atlântica é relativamente pequena, o que está refletido em grandes diferenças no regime pluvial, conforme o registrado em algumas estações

[Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like 'H. D.', 'R. S.', and others.]

fluviométricas monitoradas em alguns dos principais exutórios regionais. As vazões específicas médias de longo prazo variam desde cerca de  $0,02 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ , na estação Vossoroca do rio São João até cerca de  $0,10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  na estação Morretes do rio Nhundiaquara. Quanto à vazão máxima instantânea específica, este parâmetro varia entre  $0,21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  na Estação Vossoroca do rio São João e  $2,14 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  na estação Morretes do rio Marumbi. Convertendo-se os dados em  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  teremos vazões médias específicas de  $2,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a  $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , sem contar  $13,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  para o rio Nhundiaquara em Morretes. No que envolve as vazões mínimas mensais médias elas são, por exemplo, de  $1,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  para a estação Vêu da Noiva do rio Ipiranga,  $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  para o rio Nhundiaquara em Morretes e  $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  para o rio São João em Vossoroca (CEHPAR 1995).

Um fato fundamental com respeito ao empreendimento em tela é que os rios da região são de pequeno porte, especialmente nos sítios onde a qualidade de suas águas é melhor e são já utilizados em parte para abastecimento público e privado e principalmente, envolveriam aduções relativamente longas.

O rio Guaraguaçu não possui qualquer série de dados de vazão confiáveis devido à influência das marés em quase todo seu curso, no entanto sua bacia hidrográfica de pequeno porte não permite grandes vazões.

#### 5.1.6.1.1.4. A água subterrânea na região

A região está provida de aquíferos fraturados, estabelecidos, sobretudo nas rochas metamórficas de alto grau do embasamento cristalino e de aquíferos com porosidade primária, formados nos sedimentos arenosos da planície litorânea.

Poços com profundidade máxima até 150 m apresentam vazões entre  $15$  e  $30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , enquanto poços com profundidades em torno de 15 m apresentam vazões entre  $0,5$  e  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  (Giusti 1996).

O aquífero sedimentar é formado por depósitos continentais e marinhos. Na fácies continental os sedimentos são subangulares, mal selecionados de areia quartzosa, com granulometria variando de fina a grossa. Podem ocorrer intercalações de camadas delgadas de areia fina e argilas. Na fácies marinha, os sedimentos são mais maduros, consistindo em areias quartzosas com granulometria variando de fina a média. Os poços perfurados nos sedimentos continentais são, em geral, mais produtivos, apresentando vazões de até  $40 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Os poços que captam águas dos sedimentos marinhos têm vazões da ordem de  $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

Os aquíferos sedimentares são alimentados pela precipitação das chuvas sobre a área de exposição. Os rios que drenam a planície costeira são rios efluentes e não contribuem para a recarga dos aquíferos. A recarga dos aquíferos fraturados ocorre pela drenagem das águas armazenadas nos sedimentos sotopostos e, em menor quantidade, pela percolação de água através de fraturas nas imediações da Serra do Mar.

Na região existe a limitação inerente à exploração de aquíferos próximos a grandes corpos de água salgada, que ocorre em todos os continentes. Esta limitação refere-se



ao ingresso de água salobra em aquíferos de água doce, que pode ocorrer em conformidade à redução da vazão de descarga subterrânea no mar, através do bombeamento executado pelos poços tubulares, na orla marítima. Giusti (1996) ressalta que além dos efeitos resultantes do bombeamento, os efeitos das marés e canais no nível do mar também favorecem o deslocamento da água do mar em direção ao continente, afetando assim a qualidade da água subterrânea e aumentando consideravelmente a sua salinidade. Este avanço de águas salgadas em direção ao continente é denominado de “intrusão salina” ou “cunha salina”.

Na área em estudo, observam-se situações variadas, existindo tanto aquíferos com água doce, potável, como de água enriquecida em íons de origem marinha. Atualmente, os aquíferos que reúnem os melhores parâmetros para exploração de água subterrânea são aqueles situados em sedimentos costeiros do Quaternário. Envolvem menor metragem de perfuração resultando em menor custo de perfuração, possuem elevados valores de capacidade específica e apresentam distribuição espacial que envolve grande parte da área de pesquisa. Estes aquíferos são os mais susceptíveis às transformações por contaminação, tanto industrial como pela salinização de suas águas.

Os aquíferos da planície costeira apresentam propriedades hidráulicas muito diferentes entre si, de modo que o aproveitamento desses mananciais ocorre de maneira distinta. Conforme FUNPAR (1997), os poços perfurados para captação de água do aquífero cristalino (fraturado), têm profundidades superiores a 100 m, com entradas de água situadas entre 60 e 130 m de profundidade e vazões variando de 3 a 20 m<sup>3</sup>/h<sup>-1</sup>. Em geral, o aquífero fraturado apresenta águas de melhor qualidade e menor vulnerabilidade à contaminação, comparando-se ao aquífero sedimentar sobreposto. As rochas do embasamento cristalino, nem sempre se revelam promissoras, em virtude da grande variação dos parâmetros hidráulicos próprios de meios fraturados. Além disso, o número reduzido de mapeamentos estruturais dificulta o aproveitamento destes aquíferos. Prova disto é o número expressivo de poços improdutivo no embasamento cristalino. Um melhor aproveitamento do aquífero fraturado está condicionado à localização de áreas potencialmente produtoras por meio do reconhecimento dos padrões tectono-estruturais da região.

Os poços perfurados no aquífero sedimentar são rasos, isto é, têm profundidade média de 25 m e, pelas suas características físicas e pouca profundidade do nível da água subterrânea, são vulneráveis à contaminação. As diferenças entre a produtividade dos poços perfurados nos sedimentos continentais e costeiros devem-se mais a aspectos construtivos do que às propriedades hidráulicas desses sedimentos.

Os aquíferos da região estudada foram caracterizados a partir de dados de poços tubulares perfurados por empresas particulares para abastecimento industrial e humano (Tabela 5.1.6). A despeito de não ter sido fornecida a localização exata dos poços, suas características hidráulicas e litologia permitem uma apropriação adequada de aspectos importantes sobre os aquíferos da região de Paranaguá.

O maior número de poços está implantado nos sedimentos costeiros. Apenas quatro unidades (20%) utilizam captação em rochas do embasamento cristalino.



Os poços tubulares, que forneceram estas médias apresentam descrições dos estratos de subsuperfície que permitiram correlações entre as diferentes camadas de sedimentos. As figuras 5.1.54 e 5.1.55, representam a distribuição vertical característica dos estratos sedimentares e níveis portadores de água. Observa-se que somente alguns horizontes apresentam características sedimentares propícias, para a manutenção de parâmetros hidráulicos, que permitem vazões superiores a  $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

Segundo a descrição dos sedimentos recuperados durante a perfuração dos poços bem como, da posição de colocação dos filtros, existem dois horizontes produtores principais nestes sedimentos, na área de Paranaguá:

- horizonte formado por areias médias a grossas, quartzosas, esbranquiçadas, mal selecionadas, com granulometria subangulosa. Eventualmente registram-se bolas de argila ou silte, ou porções de frações mais finas em meio às areias. Neste horizonte as vazões alcançam valores entre  $6,0$  a  $20,0 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Este horizonte configura, provavelmente, um depósito continental de leques aluviais.
- horizonte formado por areias finas a médias, esbranquiçadas, quartzosas, mal selecionadas, eventualmente com seixos centimétricos de quartzo leitoso. As vazões nesta porção alcançam valores entre  $4,4$  a  $9,0 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Este horizonte representa, provavelmente, uma zona de transição entre sedimentos continentais e marinhos.

É importante observar que os valores correlacionados são de profundidades absolutas de perfuração, ao invés de cotas topográficas, que tornariam os valores mais precisos.

O aquífero em aproveitamento é apenas do horizonte de areias médias. Giusti *et al.* (1994) apresentam duas freqüências de vazões para esses sedimentos costeiros do Quaternário, variando de  $0,5$  a  $8,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  e  $13,8$  a  $19,8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

As profundidades do nível freático na região da Baía de Paranaguá são pequenas, com valores predominantes entre  $0$  e  $5$  m. Através de sondagens elétricas realizadas nas proximidades do porto de Paranaguá, Giusti (1989) delimitou a profundidade do nível freático entre  $0,6$  m e  $3,0$  m. Também determinou uma camada arenosa saturada com água doce com espessura de  $6$  m e a presença de água salgada a partir de  $11$  m de profundidade.

Em rochas cristalinas do embasamento, as fraturas alcançadas situam-se a profundidades de  $64$ ,  $78$ ,  $91$ ,  $102$ ,  $120$  e  $133$  m. De acordo com Camargo (1995), essas fraturas em sua grande maioria são abertas, e as que se encontram colmatadas são preenchidas por cloritas e biotitas. As falhas apresentam uma direção principal (NS/50°E) e duas secundárias (N22°E/35°SE), enquanto que as juntas têm um plano principal com atitudes em torno de N10°W/50°NE, e dois planos secundários com atitudes de N06°E/30°SE e N09°E/34°SW.

As vazões para as rochas do embasamento envolvem valores da ordem de  $2,3$  a  $20,8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  (Tabela 5.1.6). Giusti (1996) também encontrou valores de vazão muito similares para essas rochas, nas faixas de  $1,8$  a  $25,3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , e uma vazão média de  $6,7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .



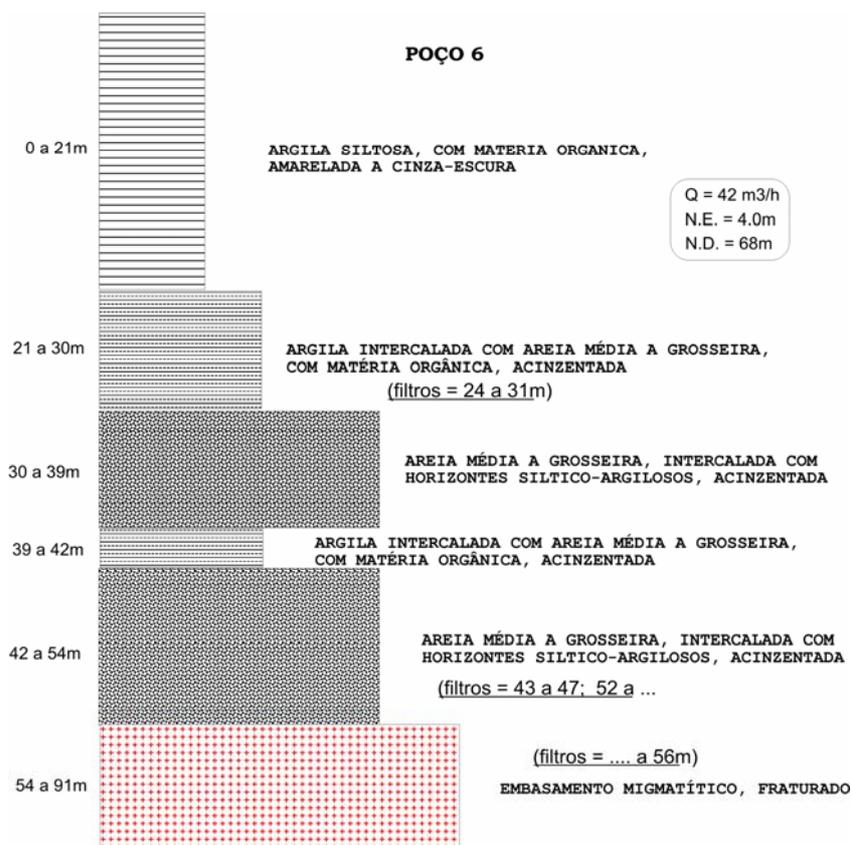


Figura 5.1.54: Poço tubular profundo em sedimentos costeiros e rochas do embasamento na cidade de Paranaguá. A água é captada do horizonte de areias médias a grosseiras e do contato dos sedimentos com o embasamento.

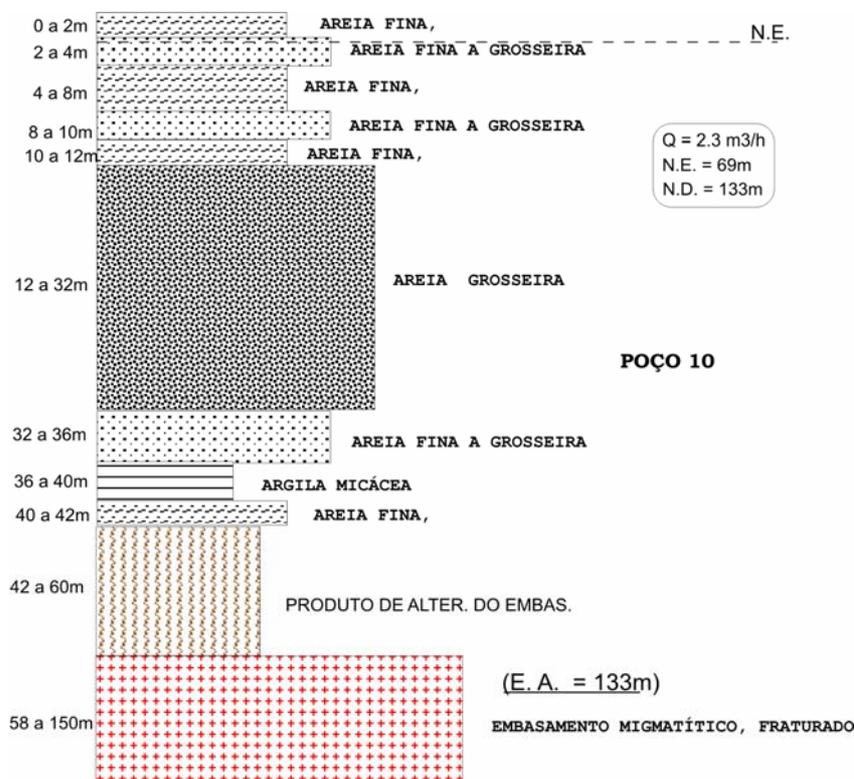


Figura 5.1.55: Poço tubular profundo e sedimentos costeiros e rochas do embasamento na cidade de Paranaguá. A água é captada das fraturas do Embasamento Cristalino.

[Handwritten signatures and initials on the right margin of the page, including names like 'H. J. P.', 'J. G.', 'R. S.', and others.]

**Tabela 5.1.6: Dados de poços tubulares perfurados na área analisada (Hidropel 1997, Aquasul 1997).**

Nº.	Aqüífero	Prof. (m)	Vazão (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	N.D. nível dinâmico (m)	N.E. nível estático (m)	Solo esp. (m)	Sedimento Costeiro (m)	E.A. entrada d'água (m)	Filtros posição (m)	Revestimento (m)
1	Sedimentos costeiros	51	4.80	6.60	4.70	15	39	Filtros	21 - 27; 31 - 37	0-21; 27-31; 37-39
2	Sedimentos costeiros	54	1.20	38.20	7.20	3	48	Filtros	50-54	0-50
3	Sedimentos costeiros	21	8.80	5.90	1.40	3	> 21	Filtros	12,0 a 18,0	0-12; 18-21
4	Sedimentos costeiros	20	9.00	3.50	1.50	6	>20	Filtros	8 a 14,0	0-8; 14-20
5	Sedimentos costeiros	20	6.60	3.50	1.50	3	>20	Filtros	9 a 14,0	0-8; 14-21
6	Sedimentos costeiros	91	42.00	68.12	4.00	-	54	filtros e 64, 78, 91	24.2 a 31.2; 43.3 a 46.8; 52.85 a 56.35	
7	Sedimentos costeiros	60	15.00	20.80	7.50	3	57	Filtros	24.7 a 38,7; 44,75 a 48,25	
8	Fraturas do embasamento	143	14.60	76.50	72.80	-	21	?	?	
9	Fraturas do embasamento	150	20.80	72.00	52.00	-	58	102 e 120	-	
10	Fraturas do embasamento	240	2.30	133.00	69.00	-	44	-	-	0 - 59,0
11	Sedimentos costeiros	21	6.00	6.20	2.70	-	>21	Filtros	8 a 16;	
12	Sedimentos costeiros	19.50	1.20	8.10	2.00	-	>18	Filtros		
13	Sedimentos costeiros	21	8.80	5.15	3.10	-	>21	Filtros	8 a 14,	
14	Sedimentos costeiros	21	6.00	11.40	2.80	-	>21	Filtros	9 a 14,	
15	Sedimentos costeiros	18	9.90	4.40	3.00	-	>18	Filtros	6 a 12,	
16	Sedimentos costeiros	19	4.40	6.00	3.00	-	>19	Filtros	4 a 12,	

As zonas de recarga dos aquíferos estudados apresentam algumas possibilidades diversas de comportamento e de vulnerabilidade. Os aquíferos porosos, por serem aquíferos livres, recebem recarga direta de água da chuva ou dos cursos de drenagem superficial, com descarga direta no oceano. Os aquíferos fraturados recebem recarga dos sedimentos que os recobrem e também pela percolação da água subterrânea desde fraturas extensas relacionadas com estruturas da Serra do Mar.

Os aquíferos que apresentam maior fragilidade à contaminação são naturalmente os aquíferos porosos, por serem de regime livre. José *et al.* (1994 *apud* Camargo 1995), através do resultado de perfis de eletroresistividade na região de indústrias de Paranaguá, observaram que a tendência da contaminação é na área interna das indústrias seguindo-se em direção à orla marítima.

A rede de drenagem se relaciona diretamente com corpos d'água subterrâneos freáticos, que adquirem grande importância, especialmente na planície costeira. O



caráter extremamente permeável dos sedimentos arenosos favorece sobremaneira a infiltração e concorre para uma muito baixa densidade de drenagem.

A área sobre a qual se pretende implantar o empreendimento, ou seja, a área diretamente afetada (ADA) está situada dentre aquelas que não alimentam rios e onde a água subterrânea flui diretamente para o estuário. Os processos ou intervenções que nela ocorrem têm seus efeitos no meio físico continental essencialmente local, com conseqüências no ecossistema estuarino da Baía de Paranaguá.

Há também que se considerar os canais fluviais e gamboas próximos ao empreendimento, pois na eventualidade de produtos poluentes de algum vazamento chegar ao estuário, estes poderiam adentrar tais canais fluviais em tempos de maré cheia e afetar inclusive a fímbria de aquíferos livres da planície litorânea no local. Nesta situação está incluído o rio Perequê.

O comportamento da água subterrânea em regiões limítrofes entre um estuário e o continente é complexo, sendo regulado por fatores tais como:

- clima e balanço hídrico na região;
- constituição litológica do substrato;
- amplitude da maré;
- morfologia da superfície do terreno;
- ocupação e atividades implantadas na superfície do terreno;
- funcionamento dos ecossistemas estabelecidos no local;
- existência e intensidade de extração de água no local;
- relação espacial entre os corpos de água da região;
- composição específica da água do estuário no local.

As interações entre a água estuarina ou oceânica e a água continental, se manifestam sob dois aspectos interdependentes básicos, que são relativos à quantidade e à qualidade da água.

As características hidrodinâmicas do fluxo exercem influência sobre aspectos de qualidade de água, na medida em que controlam taxas de diluição e direção de deslocamento de plumas de contaminação. Por outro lado, a salinidade da água do mar estabelece características da interface água doce água salgada, em função da diferença de densidade entre os dois fluidos. Deste modo, a avaliação de eventuais impactos ambientais de um empreendimento em um sítio costeiro, sobre a qualidade do manancial subterrâneo carece do conhecimento básico do regime de movimentações de fluxo hídrico de subsuperfície.

### **5.1.6.1.1.5. O contexto hidrogeoquímico regional**

A área em questão está inserida no mesmo contexto geral da parte baixa da bacia do rio Perequê, tendo sido este último classificado como um riacho de maré ou gamboa,



estudada por Marone *et al.* (2002). Os autores identificaram que “a limitada inundação desta área causada pelas forças de maré regularmente altera a qualidade da água da superfície e da água subterrânea, bem como a direção do fluxo para o mar”. A qualidade da água foi analisada física, química e biologicamente. O monitoramento contínuo de pH, condutividade, alcalinidade e material particulado em suspensão, indica que a qualidade aquosa varia espacial e temporalmente na área investigada.

Na área estudada, o pH variou de 4,64 a 8,58 considerando todos os poços e também a variação temporal. Há que se salientar que, para este comportamento contribuem diretamente fatores essencialmente físicos e fatores biogeoquímicos. Foi observado que o aquífero do Perequê apresenta três zonas distintas quanto ao valor do pH. Uma delas na borda do mar e do rio homônimo se caracteriza por um pH na ordem de 8,0, tendo com principal controle a composição a água estuarina. Uma zona mais para o interior, com pH nitidamente ácido, na faixa de 4,6 a 5,7 bordeja a vegetação de restinga e tem seus controles atribuídos pelos autores a “aporte elevado de matéria orgânica”. Foi também identificada uma zona intermediária com pH variando entre 6,0 e 7,5.

Por ocasião dos referidos trabalhos, foram realizadas onze campanhas de coletas e análises químicas em amostras de água de dezesseis poços, sendo anotado que o teor médio de Nitrogênio Inorgânico Total (NID) é 0,91 mg.L<sup>-1</sup>. Fosfato e sílica, também analisados apresentaram níveis médios de 0,10 e 2,91 mg L<sup>-1</sup> respectivamente.

A água subterrânea da área investigada apresentou teores de N<sub>nitrato</sub> entre 0,0006 mg.L<sup>-1</sup> e 0,49 mg.L<sup>-1</sup> inferiores ao limite permissível de 10 mg.L<sup>-1</sup>, preconizado pela Portaria MS 518/2004. Valores excepcionalmente altos detectados em alguns poços foram atribuídos a efluentes originados em fossas sépticas.

Um incremento progressivo no teor de nitrato do verão para o outono de 2002 é atribuído pelos autores à mistura da água de superfície com a água subterrânea associada ao aumento concomitante da pluviosidade.

Nas amostras analisadas, o teor de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> não apresentou valores apreciáveis, no entanto o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> apresentou quantidade que varia significativamente, estando os valores mais elevados relacionados a poços na área urbana de Pontal do Sul.

Tanto o amônio como o nitrito são espécies químicas de nitrogênio afins a ambientes anóxicos. Em ambientes mais oxidantes a espécie de nitrogênio mais estável é o nitrato, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, sendo este o destino de transformação do nitrogênio de nitrito, nitrogênio amoniacal e nitrogênio orgânico. Visto isso, a presença das espécies de nitrogênio reduzido, em grande parte dos casos se relaciona a poluição em que a fonte poluente está próxima. No caso do Perequê há que se considerar a intensa atividade biológica que tem lugar nos manguezais e adjacências, onde o nitrogênio é submetido a processos de óxido-redução. O teor mais baixo de nitrato registrado no período de verão pode estar, conseqüentemente, associado a um incremento na atividade biológica, seja ela microbiana, fotossintética ou de ambos os processos. Por outro lado, os processos de nitrificação e de desnitrificação, os quais determinam o teor de



nitrogênio na água, possuem ligações específicas com a taxa de fluxo da água subterrânea e os níveis de eutrofização em áreas dominadas por marismas.

Dentre os fatores físicos podem ser citados: as variações no nível de diluição e composição da água da gamboa; o afluxo de água diluída vinda do continente; a intensidade das precipitações pluviais; e a variação da composição da água estuarina em face de movimentações das massas menos salinas vindas do interior do estuário em contraposição às águas oceânicas.

Outro trabalho de identificação de características do aquífero superficial no estuário da Baía de Paranaguá foi realizado a oeste da cidade homônima entre os rios Embocuí e Emboguaçu (FUNPAR 1997). Para o referido trabalho, no dia 8 de julho de 1997 foram amostrados 10 pontos de água no sítio Emboguaçu/Embocuí, bem como no rio Marumbi em Morretes, este último ponto para servir de referência quanto à água das cabeceiras dos principais tributários da região. Nas amostras colhidas, foram efetuadas análises de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, conforme dados apresentados nas tabelas 5.1.7 e 5.1.8.

O diagrama da figura 5.1.56 evidencia diferenças importantes no caráter químico das águas do local. As cavas 4, 5 e 2 são caracterizadas por um teor em sulfato mais elevado, enquanto a cava 9, aquela mais afastada da linha de costa, porém a mais próxima de fontes de contaminação antrópica, tem sulfato bem mais baixo e é mais cálcica.

Os poços e o alagado próximo ao oleoduto, também possuem baixo sulfato, sugerindo menor influência dos níveis orgânicos, que favorecem a uma concentração de enxofre, de início reduzido, porém que se oxida para sulfato por maior contato com o oxigênio atmosférico.

Quanto aos poços tubulares profundos que atingem o embasamento cristalino, suas composições se diferenciam entre si e em relação às demais águas consideradas. O poço 9, representado pela amostra 13, (Tabela 5.1.7, figura 5.1.56) coleta água bicarbonatada sódica, sem sulfato, o que a diferencia das águas mais próximas da superfície. Estas últimas são menos cálcicas, além de possuírem maiores teores em sulfato ou cloreto, face a contaminações com águas estuarinas e maior influência dos níveis orgânicos.

As análises bacteriológicas das cavas apresentam resultados que podem parecer surpreendentes, em se tratando de corpos de água superficiais e em muitos casos vizinhos de atividades antrópicas poluentes. Na Cava Grande a amostra coletada o foi a poucos centímetros de uma das margens o que explica vestígios de coliformes, por outro lado, no vertedouro de uma cava vizinha a água *in natura* se apresentou como potável.

A cava próxima à unidade da empresa SADIA e do depósito de lixo não controlado existente no local, apresentou alta contaminação por coliformes, o que seria de se esperar face à presença inclusive de detritos em suas margens. Também águas de um alagado, provavelmente formado durante a construção do oleoduto, apresentam contaminação considerável (FUNPAR 1997).



De três poços tubulares amostrados, um estava isento de contaminação e dois apresentaram valores superiores aos limites de potabilidade com respeito a Coliformes totais e inferiores quanto a Coliformes fecais.

Em termos de potabilidade, o baixo pH é um fator restritivo que, embora de fácil tratamento, pode facilitar a solubilização de alumínio, o que deve ser considerado.

**Tabela 5.1.7: Composição físico-química de águas naturais coletadas no sítio Embogaçu/Embocuí, município de Paranaguá. Os dados das espécies químicas dissolvidas estão apresentados em mg.L<sup>-1</sup>. As análises foram realizadas no Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas da UFPR, a temperatura e o pH foram tomados no campo.**

n°	Corpo	pH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Fe	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	t °C
1	Areal Rocha Poço tubular	5.3	6.1	4.6	>1.0	0.28	2.8	4.47	0.7	0.57	1.90	1.04	19.0
2	Areal Rocha Cava	4.87	1.95	15.8	14.5	2.65	4.92	0.50	1.52	0.86	9.66	5.29	22.0
3	Fazenda Casa Branca Poço tubular	6.72	10.25	4.10	>1.0	0.04	3.85	0.07	2.29	0.60	1.74	0.08	19.5
4	Oleoduto Alagado	5.12	2.44	4.10	>1.0	>0.04	1.28	1.06	0.28	0.51	1.90	1.37	22.5
5	Norte da Cava Grande Cava	4.47	1.22	11.7	8.00	>0.04	4.94	0.75	1.72	1.13	5.66	1.36	22
6	Vertedouro da Cava Azul Cava	4.56	1.22	6.9	7.00	0.31	5.99	0.17	1.74	0.91	2.86	1.48	21.8
7	Fazenda Eurides Costa Mangue	6.95	81.74	12243.5	1800	6.19	33.8	3.21	260.4 3	869	6075.96	307.68	23.2
8	Fazenda Eurides Costa Poço tubular	5.40	3.66	18.9	3.00	0.88	5.78	10.0	0.46	0.81	2.12	0.65	19.6
9	Cava Lixão Cava	6.6	6.47	8.2	>1.0	0.13	14.77	0.63	3.00	0.86	2.76	1.07	24.2
10	Rio Marumbi em Morretes Rio	6.78	6.47	6.10	>1.0	0.18	3.64	0.50	1.91	1.08	2.42	0.82	22.6
13	Poço tub.09 Poço tubular	7.9	226.4	28.6	5.1	0	40.8	0.05	10.8	6.1	79	5.7	19

**Tabela 5.1.8: Composição em metais pesados, turbidez, sólidos totais dissolvidos e bacteriológica de águas naturais coletadas no sítio Embogaçu/Embocuí, município de Paranaguá. Os dados estão apresentados em mg.L<sup>-1</sup>. As análises bacteriológicas foram realizadas no Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos-CEPPA da UFPR.**

Local	Corpo	Coliformes fecais	Coliformes totais	Condutividade $\mu\text{S cm}^{-1}$	Cor	Turb.	TDS	N <sub>amoniacoal</sub>	Ba <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
		NMP				UT	mg L <sup>-1</sup>								
1	Areal Rocha Poço tubular	<1.1	1.1	25	5	0.40	35	<0.01	nd	nd	nd	0.02	0.04	nd	0.07
2	Areal Rocha Cava	-	-	105	15	3.50	65	<0.01	nd	nd	nd	nd	0.05	nd	0.08
3	Fazenda Casa Branca Poço tubular	<1.1	16.1	28	5	0.20	94	<0.01	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.08
4	Oleoduto Alagado	6.9	16.1	20	250	0.70	106	<0.01	nd	nd	nd	nd	0.01	nd	0.08
5	Norte da Cava Grande Cava	1.1	1.1	98	15	.75	84	<0.01	nd	nd	nd	nd	0.06	Nd	0.07
6	Vertedouro da Cava Azul Cava	<1.1	<1.1	71	5	0.85	129	<0.01	nd	nd	nd	nd	006	nd	0.08
7	Fazenda Eurides Costa Mangue	-	-	51000	20	85	2443	0.60	nd	0.06	1.02	0.06	0.17	0.74	0.14
8	Fazenda Eurides Costa Poço tubular	<1.1	<1.1	30	15	5.00	54	<0.01	nd	nd	nd	0.04	0.08	nd	0.16
9	Cava Lixão Cava	3.6	>23	41	30	3.00	119	<0.01	nd	nd	nd	nd	0.03	nd	0.08
10	R.Marumbi em Morretes Rio	-	-	35	20	1.00	100	<0.01	nd	nd	nd	nd	0.04	nd	0.08



**5.1.6.1.1.6. Aquisição das características químicas das águas continentais da região litorânea do Paraná**

O quimismo das águas continentais da região é estabelecido pelo intemperismo das rochas do embasamento cristalino que contribui com a maior parte do cálcio, magnésio, sódio e potássio em uma proporção semelhante àquela encontrada nas águas de rios da região em pontos antes de atingirem os sedimentos arenosos quaternários da planície litorânea. É o caso do rio Tagaçaba em Sítio Tagaçaba, rio Marumbi em Marumbi e, de certo modo o rio do Pinto no Anhaia. As águas destes rios drenam litologia muito semelhante àquela das cabeceiras do Guaraguaçu, rio Ribeirão e outros. Estes elementos têm seus teores grandemente controlados por reações de trocas de base com o complexo adsorvente mineral dos solos e aquíferos e também com adsorventes orgânicos no caso de formações superficiais e subsuperficiais com muito material turfoso.

O sódio e magnésio, nas águas da planície litorânea, tomam valores mais elevados tendendo à composição da água do mar, nas proximidades deste, tanto por intrusões de águas salinas nos aquíferos, como nos próprios rios ou por aporte de sais cíclicos veiculados eolicamente. Este é o mesmo caso do cloro e do sulfato em menor proporção. É importante notar que mesmo em regiões afastadas dos oceanos se pode creditar parte do cloro a aportes como NaCl movimentado sob a forma de aerossol oceânico, uma vez que o teor de cloro em rochas magmáticas, metamórficas e a maioria das sedimentares geralmente é muito baixo.

A sílica tem origem principalmente no equilíbrio das soluções com aluminossilicatos hidratados e sua origem é, sobretudo, continental, uma vez que nos oceanos seu teor é muito baixo por ação de mecanismos reguladores orgânicos e também inorgânicos.

O nitrato, presente em pequena proporção no rio Guaraguaçu, tem sua origem no ciclo natural do nitrogênio envolvendo a ação bacteriana dos solos, sem se descartar contribuições de esgotos urbanos e contaminação por fertilizantes. Formações turfosas podem contribuir com teores importantes de nitratos. No caso de captações subterrâneas e em rios de áreas urbanizadas sua origem pode estar relacionada a efluentes orgânicos. Poluições de atividades agrícolas, por fertilizantes e atividades pecuárias por efluentes contendo dejetos animais são importantes fontes de contaminação de corpos de água.

A todas as origens naturais ou de efluentes urbanos há que se acrescentar contribuições de atividades industriais e para-industriais, como é o caso de lixiviados oriundos diretamente de acidentes ou do trabalhamento de materiais afetados por acidentes. Neste último caso, se enquadra o desmonte de destroços do navio Vicuña, acidentado em Paranaguá e que foram armazenados temporariamente em parte do terreno do terminal em estudo.

**5.1.6.1.2. Levantamento das condições hídricas locais**

**5.1.6.1.2.1. Hidrogeologia local**

O sistema aquífero local é o do tipo livre, com características hidrogeológicas quase homogêneas e isotrópicas. Acha-se limitado, na área de estudo, por fronteiras móveis,



definidas pela superfície potenciométrica e pela interface água doce – água salgada e, na base, por um uma fronteira fixa, representada pelo embasamento cristalino sobre o qual está assentado. Os limites situados nas extremidades SE e NW, coincidem com as divisas da propriedade e não interferem na continuidade do fluxo subterrâneo.

Os perfis litológicos das perfurações para implantação dos poços de monitoramento mostram homogeneidade quanto ao material do aquífero, evidenciando um predomínio de sedimentos quartzosos com granulometria fina a muito fina com intercalações delgadas (em geral inferiores a um metro de espessura) de argila com alto teor de matéria orgânica. O pacote arenoso tem profundidade superior a 20 m (conforme dados de sondagens geotécnicas feitas no local), e as intercalações de argila orgânica são, aparentemente, descontínuas e ocorrem em profundidades distintas por toda a área.

Parte da área tem a camada superficial alterada, estando compactada e coberta por brita ou pavimentações. O restante da área tem cobertura de gramíneas ou vegetação arbustiva característica de zonas litorâneas.

A recarga do aquífero se deve, essencialmente, às precipitações pluviométricas e a descarga ocorre ao longo da costa, diretamente para o mar. Não se observaram descargas artificiais por bombeamentos de poços, uma vez que as moradias da área estão desocupadas. Foram encontrados dois poços tubulares desativados, com diâmetros de 10 e 15 cm, situados a menos de 5 m de distância um do outro, sem tampa e revestidos com de tubos de ferro. Não se obteve qualquer informação sobre o tipo de uso dado a esses poços.

As figuras 5.1.57 a 5.1.62 apresentam alguns detalhes dos locais onde foram instalados os poços de monitoramento da qualidade da água e do piezômetro PM-1. Na figura 5.1.57 se observa em primeiro plano, uma tela metálica suportando colônias de líquens viabilizados por nutrientes transportados por aerossóis, material este que após deposição no solo, contribui para a composição das águas subterrâneas. Na mesma figura, ao fundo se observa parte da área a ser ocupada pelo empreendimento.

Na figura 5.1.59, à esquerda, no terreno vizinho, se visualizam edificações da empresa Techint.



Figura 5.1.57: Aspecto de parte da área prevista para o empreendimento

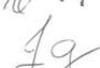
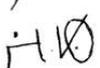
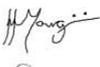
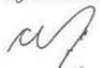
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  




Figura 5.1.58: Local de implantação do piezômetro PM-3.



Figura 5.1.59: Vista do piezômetro PM-1, tendo ao fundo instalações da empresa Techint.



Figura 5.1.60: Vista do local do poço de monitoramento PM-2, podendo-se observar ao lado o equipamento de medição do nível de água subterrânea.

*[Handwritten signatures and initials]*



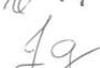
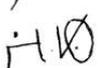
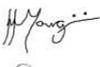
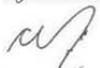
Figura 5.1.61: Vista da parte externa do poço de monitoramento PM-5.

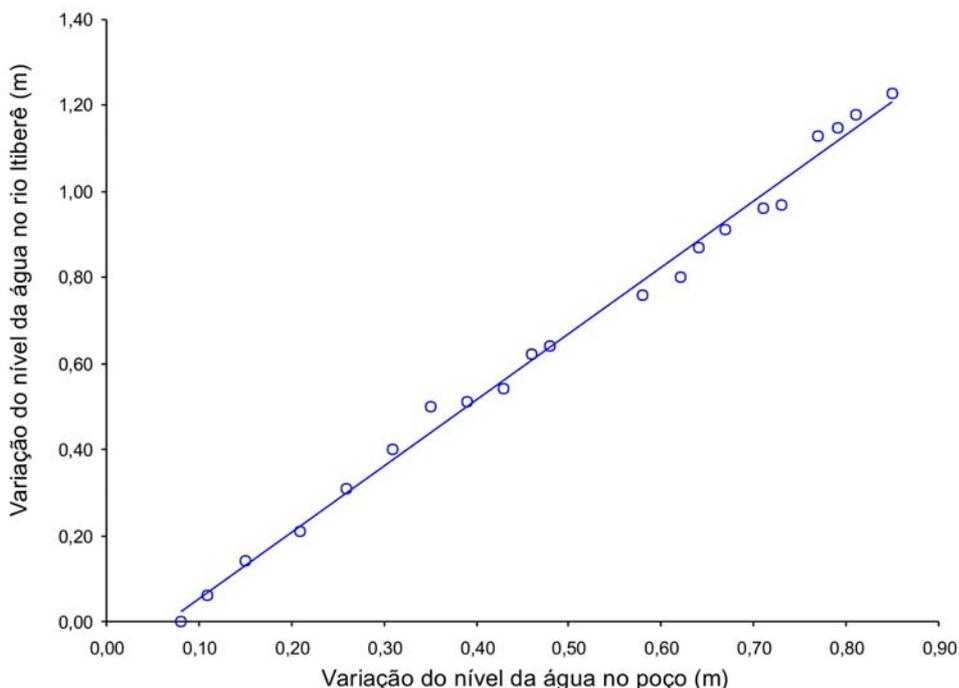


Figura 5.1.62: Parte externa do poço de monitoramento PM-7

**5.1.6.1.2.2. Nível potenciométrico do aquífero livre**

Em aquíferos de porosidade intergranular situados muito próximos à linha de costa, os níveis da água subterrânea estão sujeitos a oscilações tanto pela recarga por águas pluviais, como por influência das marés oceânicas. A amplitude dessas oscilações depende, entre outros fatores, da conexão hidráulica entre o aquífero e o mar e da distância entre o ponto de observação e a linha da costa. Hindi *et al.* (2003) em estudos realizados na Ilha dos Valadares, em Paranaguá, mostraram a relação linear entre a variação do nível da água subterrânea freática, medido em um poço situado a 30 m da margem, e a variação do nível da maré registrada no rio Itiberê, na Ilha dos Valadares (Figura 5.1.63).

**Figura 5.1.63: Relação entre os níveis da água no rio Itiberê e no poço 1 (Hindi *et al.* 2003)**

Para minimizar os efeitos da maré na potenciometria, tomou-se a precaução de tomar as medidas de nível estático nos poços implantados da área, em um curto intervalo de tempo, entre as 12:00 h e 13:15 h, no dia 09/04/07.

Os níveis da água, apresentados na tabela 5.1.9, variaram de 0,62 m a 1,55 m de profundidade, medidos com medidor de nível com sensor elétrico e cabo graduado (em cm), tomando-se como referência, o nível do solo junto ao tubo de revestimento do poço. A altitude da linha de água, na praia, era de aproximadamente 0,9 m na ocasião da medição dos níveis de água, sendo esse, o valor adotado para o cálculo das equipotenciais.

**Tabela 5.1.9: Valores medidos para o nível da água do aquífero livre nos dias 02 e 09/04/2007.**

Poço	Hora	Nível da água (m) <sup>(1)</sup>	Altitude do poço (m)	Altitude do nível da água (m)
PM-1	13:15	1,29	3,21	1,92
PM-2	13:25	1,15	3,46	2,61
PM-3	13:05	1,55	2,46	0,91
PM-4	12:55	1,08	3,44	2,36
PM-5	13:00	0,62	2,17	1,78
PM-6	12:45	0,81	3,55	2,74
PM-7	12:40	0,87	3,17	2,54
PM-8	12:20	1,52	3,28	1,86
PM-9	12:10	1,54	3,03	1,64
PM-10	12:00	1,28	2,33	1,45
Poço tubular	12:30	1,16	2,73	2,02

<sup>(1)</sup> Descontado a altura do tubo de boca

O mapa isotopocimétrico gerado a partir da altitude do nível estático (Figura 5.1.64), mostra linhas de fluxo dirigidas para o oceano, em toda a orla. Para facilitar a descrição das feições observadas no mapa potociométrico, dividiu-se a área em duas partes: a porção SE, limitada pelo oceano Atlântico, e pelos terrenos identificados como "Techint" e "Área remanescente"; e a porção NW, limitada pelo oceano Atlântico e pelo terreno identificado como "Área de terceiros". Observam-se nesse mapa, as seguintes feições:

- as linhas isotopociais, que indicam a altitude do nível da água subterrânea, variaram de um metro, nas proximidades da linha de praia a 2,6 m no limite com a "área de terceiros";
- a superfície potociométrica apresenta zonas de fluxo divergente (limite entre a porção NW e SE) e convergente (na metade da porção SE, junto à praia);
- um alto potociométrico ao norte do limite entre a porção NW e SE da área. A partir desse alto, as linhas de fluxo se irradiam marcando um divisor de águas subterrâneas com direção aproximadamente perpendicular à linha de costa;
- um alto potociométrico no vértice SW da área, junto ao limite com o terreno da Techint;
- uma zona de convergência, nas imediações do PM-3, das linhas de fluxo oriundas dos altos potociométricos mencionados;
- ausência de divisores de águas ou barreiras físicas às linhas de fluxo subterrâneo, entre a área em estudo e as circunvizinhas. As linhas de fluxo se dirigem para o oceano provindas de pontos externos à área em estudo.

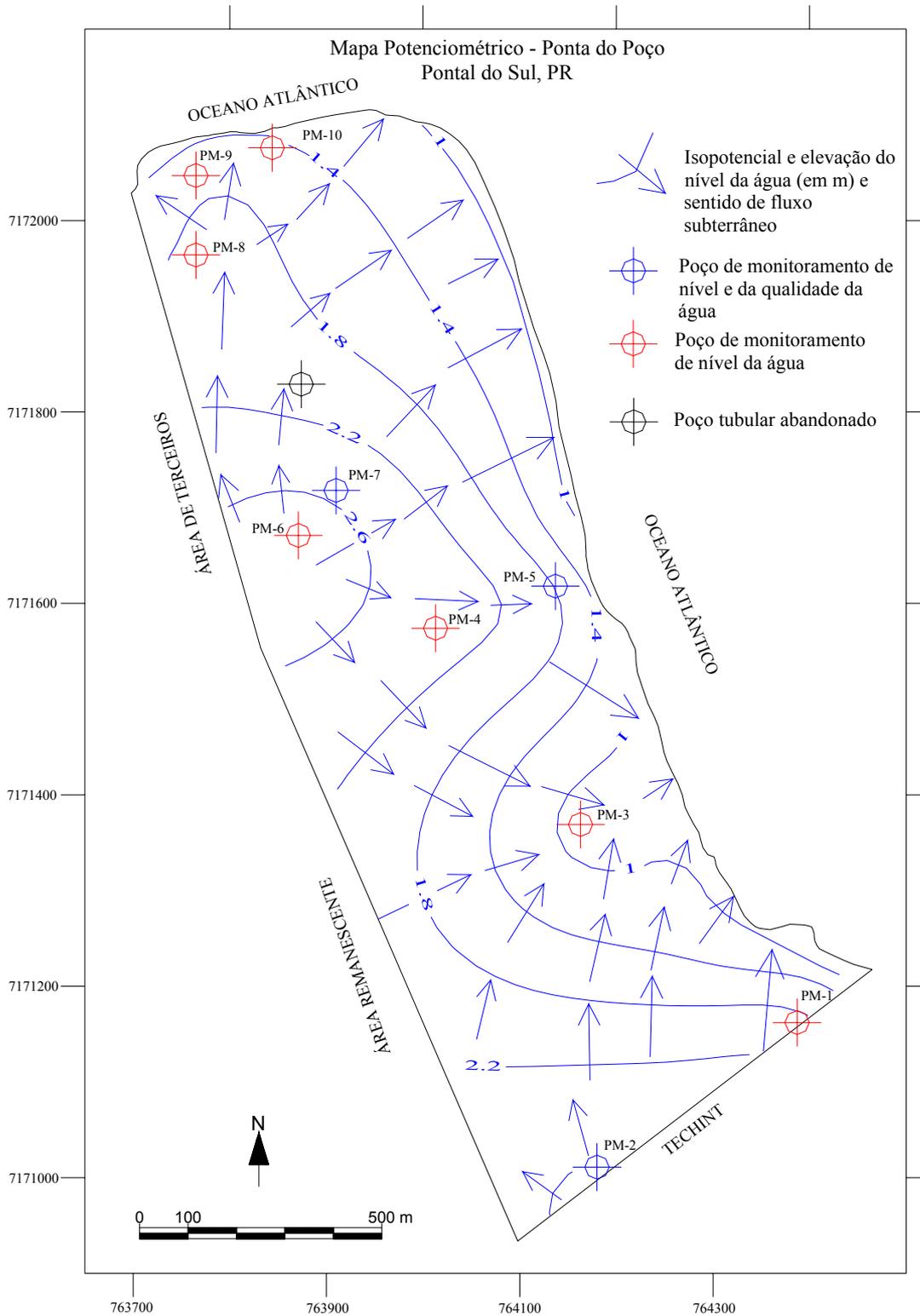



Figura 5.1.64: Mapa potenciométrico da área em estudo.

[Assinaturas manuscritas]

5.1.6.2. Qualidade da água

5.1.6.2.1. Determinação da qualidade de água subterrânea

Os valores determinados em campo para a condutividade, pH, temperatura da água e temperatura ambiente, estão representados na tabela 5.1.10, enquanto os resultados da análise laboratorial das amostras, quanto a seus macro-constituintes iônicos, constam da tabela 5.1.11. O rol completo das variáveis químicas e físico-químicas analisadas em laboratório consta no Anexo 5.1-III.

Tabela 5.1.10: Temperatura da água e temperatura ambiente, condutividade iônica e potencial hidrogeniônico, obtidas *in situ* por ocasião da coleta de amostras para análise laboratorial na ACID do empreendimento portuário de Ponta do Poço.

Código	Data	Hora	Condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	T ambiente. (°C)	T água (°C)	pH
PM-2	09-04-2007	9:40	67,9	32,0	23,6	5,31
PM-5	09-04-2007	10:40	362		23,1	5,84
PM-7	09-04-2007	11:45	183,3		26,3	6,17

Tabela 5.1.11: Macro-constituintes iônicos determinados.

Amostra	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	pH	T (°C)
	(mgL <sup>-1</sup> )									
PM-2	3,10	2,75	16,35	<1,0	1,94	0,71	8,26	1,79	4,84	23,6
PM-5	3,54	4,54	86,45	15	5,21	6,73	43,06	2,27	5,48	23,1
PM-7	0,22	15	16,00	<1,0	11,25	3,99	7,97	3,82	5,76	26,3

5.1.6.2.1.1. Contexto hidrogeoquímico local

Uma característica importante que diferencia a área de Ponta do Poço e do Perequê é a ausência de corpos de água superficiais significativos. O rio mais próximo é o próprio rio Perequê, que dista pouco mais de 100 m, de maneira que a afluxo de água de baixa salinidade é bem menos efetivo do que na área de influência direta do referido rio. Os corpos de água expostos à superfície se limitam a pequenas áreas de ambiente supraquial (Fortescue 1989), alimentados, sobretudo, por precipitações pluviais.

A título de contextualização da composição das águas da área estudada, com respeito aos macro-constituintes iônicos, se lançou mão da composição hidroquímica de um ambiente continental periférico no mesmo estuário de Paranaguá, o sítio Embocuí – Emboguaçu, onde as mesmas variáveis foram analisadas. Para tal foi elaborado um diagrama trilinear de Durov (Durov 1948) (Figura 5.1.56) onde foram locados dados dos três poços de monitoramento construídos para este trabalho em conjunto com águas de cavas, poços tubulares e mangue da área de referência. O diagrama de Durov explicita as relações entre os cátions e ânions, sendo neutralizados os efeitos de diluição e salientados efeitos de misturas de águas com diferentes composições. Deste modo, se observa que as águas se distribuem entre aquelas de composição mais cálcica, correspondente ao ponto 3 do sítio Embocuí-Emboguaçu até água mais sódica,

Handwritten signatures and initials on the right margin of the page.

encontrada no ponto 7, correspondente ao mangue situado no mesmo sítio (Tabela 5.1.8).

Em face do fluxo maior de água de baixa salinidade ocorrer no sentido SW–NE, a mais baixa salinidade é observada no ponto PM-2 e a mais elevada no ponto PM-7. Esta característica fica evidenciada na figura 5.1.56, no campo do gráfico que apresenta a salinidade representada pela concentração total dos cátions majoritários. A concentração total de componentes dissolvidos coloca a água dos três poços PM-2, PM-5 e PM-7 como água doce, conforme padronização do Conama 357/05.

Em termos de macro-constituintes iônicos, comparando-se as amostras de Ponta do Poço com águas do sítio Embocuí–Emboguaçu, os pontos PM-5 e PM-2 se situam mais próximos ao extremo sódico representado por soluções coletadas no mangue do que as amostras de poços e cavas. Já o ponto PM-7, possui uma composição mais cálcica, apesar de uma salinidade maior do que o ponto PM-2, salinidade esta representada tanto pela condutividade iônica (Tabela 5.1.10) como pela concentração total dos cátions majoritários (Tabelas 5.1.7 e 5.1.8). Este fato pode ser atribuído a uma contribuição em cálcio específica para aquele ponto.

O pH mais elevado no PM-7, em relação aos outros dois, levanta a possibilidade desta contribuição ser originada na dissolução de material carbonático, seja de origem geológica ou de material de construção civil na superfície. O ponto PM-5 apresenta um pH inferior a PM-7, porém superior a PM-2 o que pode ser reputado a influência de mistura com água marinha.

Desperta a atenção o elevado teor em amônia detectado no PM-7 ( $2,78 \text{ mg.L}^{-1}$  de  $\text{N}_{\text{amoniaco}}$ ). Como este valor não vem acompanhado por valor de  $\text{N}_{\text{nitrato}}$  superior a  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ , trata-se de uma contaminação local e provavelmente recente.

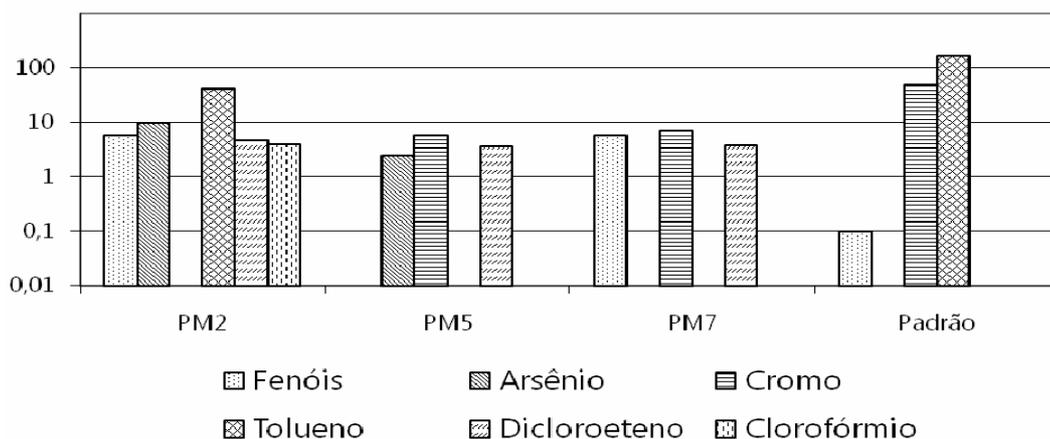
Com respeito aos ânions, se no sítio Embocuí–Emboguaçu e na Ilha dos Valadares há corpos de água com composição rica em sulfato, na área de Ponta do Poço isto não ocorre, sendo encontrados para o  $\text{SO}_4^{2-}$ , os seguintes valores: PM-5,  $15 \text{ mg.L}^{-1}$ ; e no PM-2 e PM-7, inferior a  $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ . Há que ser lembrado que uma importante fonte natural de sulfatos é a matéria orgânica que seqüestra enxofre que, em ambiente deposicionais subaquáticos, é reduzido sob a forma de sulfeto. Este sulfeto, mediante elevação posterior do potencial de oxidação do ambiente, adquire a forma de sulfato, sob a qual tem elevada mobilidade.

Analisando-se o diagrama de Durov, percebe-se no campo correspondente aos ânions, duas linhas de evolução ou famílias de águas. Uma corresponde às águas com teores mais elevados de sulfato e nitrato e outra onde este íon tem pouca representatividade, sendo que as águas de Ponta do Poço têm um caráter que mais se assemelha a este segundo grupo. Este caráter tem a ver seguramente com o ambiente de deposição, mais externo à baía de Paranaguá do que no caso do sítio Embocuí–Emboguaçu. Áreas mais internas têm a tendência de gerarem ambientes menos óxicos em face do aporte de matéria orgânica e do caráter menos energético dos fluxos de água.



**5.1.6.2.1.2. Contaminações por atividades industriais**

A avaliação dos níveis de contaminação por atividades humanas se dá através da análise de componentes químicos que não são produzidos naturalmente nos ambientes estudados. Nos poços de monitoramento PM-2, PM-5 e PM-7 foram determinadas substâncias preconizadas na Resolução Conama 357/05 e outros documentos correlatos. Dentre todos os analitos determinados, foram verificados valores acima dos limites de detecção das seguintes substâncias potencialmente tóxicas: arsênio, clorofórmio, cromo, dicloroeteno, fenol e tolueno (Anexo 5.1-III). A título de melhor visualização os resultados foram dispostos no diagrama de barras da figura 5.1.65.



**Figura 5.1.65: Presença de analitos previstos na Portaria Conama 357/05 e identificados na água subterrânea da localidade de Ponta do Poço. Concentração dos analitos em µg.L<sup>-1</sup>.**

As variáveis detectadas e constantes da figura 5.1.65, se constituem em um testemunho das atividades pretéritas desenvolvidas no próprio terreno do empreendimento e áreas vizinhas, notadamente da Techint, situada a sudeste. Esta contribuição da vizinhança é evidenciada pela própria presença de edificações nas proximidades (Figuras 5.1.66 e 5.1.67), em função da direção do fluxo subsuperficial, uma vez que o mapa potenciométrico (Figura 5.1.63), não evidencia descontinuidades no fluxo da água subterrânea oriunda das vizinhanças da área em estudo.

Em face da dinâmica da água subterrânea, devido à alta transmissividade dos sedimentos arenosos e da proximidade do oceano, grande parte dos produtos químicos outrora presentes por contaminação do aquífero superficial já foram drenados do sistema para o estuário. O que foi agora detectado nos poços PM-5 e PM-7, aparentemente é uma fração residual, do que foi infiltrado originalmente.

Vertical column of handwritten signatures and initials on the right margin of the page.



Figura 5.1.66: Aspecto de edificações industriais da Techint, vizinha do empreendimento.

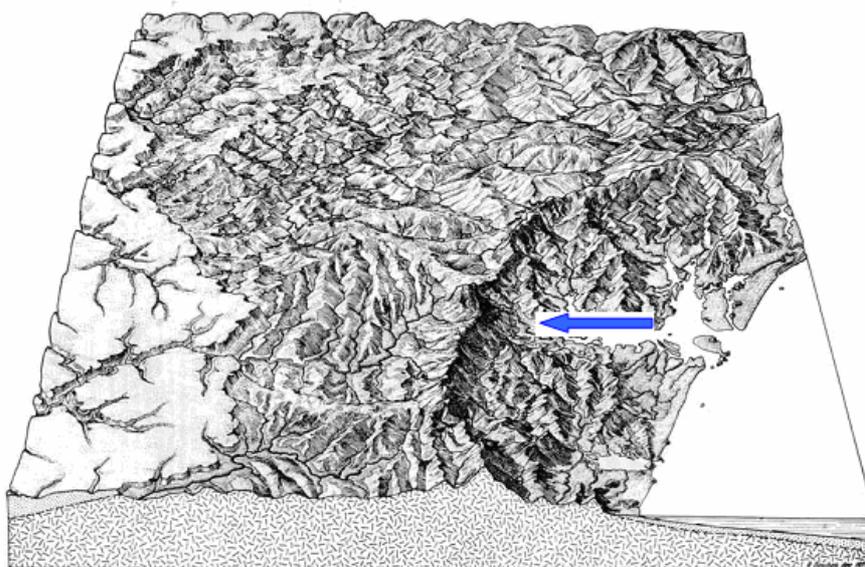


Figura 5.1.67: Visão geral da área do empreendimento, outrora sede de atividades industriais e correlatas.

**5.1.6.2.2. Caracterização da qualidade da água estuarina na área de influência indireta (AII) - com base em estudos pretéritos**

Os rios Cachoeira e Nhundiaquara constituem os principais tributários das bacias hidrográficas da Serra do Mar, com descargas médias de água doce para o CEP de  $21,13 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e  $15,88 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , respectivamente (Lana *et al.* 2000). Em virtude da escassez de informações sobre a qualidade da água destes sistemas, optou-se por utilizar a Bacia do rio Marumbi, cuja foz está situada no rio Nhundiaquara, como representativa das bacias hidrográficas do CEP (Figura 5.1.68). Assim, a caracterização apresentada a seguir baseia-se em parte do trabalho desenvolvido por Marques (2004). Segundo o autor, o trajeto do rio Marumbi representa, grosso modo, um transecto estendido na direção leste-oeste, atravessando um gradiente paisagístico que parte de uma situação altamente preservada na nascente, seguindo em direção a áreas urbanizadas, o que o torna adequado para servir como referência para programas de monitoramento. A bacia hidrográfica do rio Marumbi localiza-se entre as coordenadas geográficas  $25^{\circ}32'30''$  e  $25^{\circ}27'30''$  de latitude Sul e  $48^{\circ}49'30''$  e  $49^{\circ}07'30''$  de longitude oeste.





**Figura 5.1.68: Bloco-diagrama da Serra do Mar no estado do Paraná, indicando aproximadamente o Rio Marumbi. Fonte: Bigarella (1978, adaptado de Marques 2004)**

Segundo Marques (2004), a maior parte da bacia do rio Marumbi possui cobertura vegetal em ótima condição de preservação, uma vez que as atividades agrícolas são desfavorecidas pela acentuada declividade. Nas regiões mais baixas, como nas proximidades da cidade de Morretes, podem ser verificadas evidências da conversão do solo para atividades agrícolas. Em parte a agricultura pode ser caracterizada como uma atividade familiar. Contudo, as práticas mecanicistas de uma agricultura mais produtiva estão mudando tal característica. O cultivo de alface, feijão, chuchu, pepino, tomate, pimentão e abobrinha são as principais atividades agrícolas. Mas também estão presentes as culturas de banana, arroz de sequeiro, arroz irrigado, maracujá, gengibre e cana de açúcar, assim como criação de búfalos. A foz do rio Marumbi está situada no rio Nhundiaquara, a leste da cidade de Morretes, à cota de 10 m sobre o nível do mar. Não existem atividades industriais dentro dos limites desta bacia.

**5.1.6.2.2.1. Caracterização físico-química da água da bacia do rio Marumbi**

As variáveis físico-químicas descritoras da qualidade da água investigadas em seis pontos do rio Marumbi e três pontos do rio Nhundiaquara, por Marques (2004), são apresentadas juntamente com os níveis críticos adotados para as águas doces – classe 1, da Resolução Conama 357/05, na tabela 5.1.12. O quadro que emerge do estudo utilizado como proxy da qualidade da água na área de influência indireta (AII) é o de ambiente lótico pouco impactado por atividades antrópicas, com variações espaciais estabelecidas basicamente pela mudança da paisagem, de vertente da serra para área de planície costeira. A área de vertente caracterizou-se por temperaturas e valores de pH mais baixos, associados com as maiores altitudes e o aporte de ácidos húmicos e fúlvicos decorrentes do processo de lixiviação da serrapilheira em ambientes florestados. Já para a região situada na porção final do rio Marumbi e no rio Nhundiaquara foram registrados valores de pH mais básicos e sem um padrão sazonal definido, o que pode ser, segundo o autor, decorrente da constituição geológica da

A vertical column of handwritten signatures and initials on the right margin of the page, including names like 'H. Yang', 'R. S.', 'M. L.', 'J.', and others.

bacia, rica em minerais alcalinos. Um aspecto interessante do trabalho em questão é que não foram verificadas diferenças nos pontos que sofrem a influência dos efluentes urbanos, mostrando a capacidade de tamponamento dos corpos d'água.

Os valores de clorofila-a, medidos apenas nos pontos situados na planície costeira, foram menores que o limite máximo adotado pela Conama 357/05 (Tabela 5.1.12). As concentrações de oxigênio dissolvido (OD), entre as variáveis investigadas por Marques (2004), apresentaram as maiores variações sazonais (Tabela 5.1.12), associadas com as flutuações da temperatura da água, que influi no grau de saturação de oxigênio. Os níveis verificados no estudo em questão refletem um ambiente bem oxigenado ao longo de todo o percurso, em virtude da velocidade da corrente. Na bacia litorânea, os menores valores foram registrados no final do rio Marumbi e no rio Nhundiaquara, associados ao incremento nas atividades de degradação de matéria orgânica nas áreas urbanas de Morretes. Os baixos valores de DBO<sub>5</sub> verificados, inferiores aos níveis preconizados na Conama 357/05, denotam o pequeno aporte de material orgânico alóctone ao longo da bacia (Marques 2004). Os valores mais elevados concomitante com as concentrações mínimas de Oxigênio dissolvido confirmam a influência do aporte de efluentes urbanos.

Marques (2004) não verificou variações pronunciadas de Fósforo ou fosfato reativo que pudessem identificar a ocorrência de fontes poluidoras substanciais nesta bacia. Os valores observados foram cerca de dez vezes menor que o limite máximo permitido para a classe 1 das águas doces. Segundo o autor, as características geológicas da bacia são responsáveis por uma baixa exportação de fósforo, sugerindo que este nutriente pode estar atuando como um fator limitante no sistema. Os valores de Fósforo total seguiram os mesmos padrões que os de fosfato, com um leve gradiente positivo no sentido nascente-foz. Esta variável serviu para identificar a poluição por esgoto doméstico, no ponto do rio Nhundiaquara logo a jusante da cidade de Morretes. Segundo Marques (2004), esta variável pode ser de grande utilidade para um programa de monitoramento da qualidade de água em Morretes, podendo também fornecer parâmetro para avaliação da eficácia do sistema de tratamento de esgoto que está sendo implantado na cidade.

Os níveis de nitrito, nitrato e Nitrogênio amoniacal, não violaram os valores máximos estipulados pela legislação ambiental. Para o nitrito, não houve variação espacial significativa, ainda que na porção final do rio Marumbi e no rio Nhundiaquara, foi verificada uma leve tendência ao aumento de concentração, nos dois períodos sazonais, como também observado para DBO<sub>5</sub>, condutividade e Nitrogênio amoniacal, atribuído pelo autor aos aportes de efluentes urbanos. Para o Nitrogênio amoniacal, Marques (2004) registrou um pico de concentração no ponto a jusante da cidade de Morretes, evidenciando fontes de poluição por esgoto doméstico. O nitrato exibiu um comportamento bastante peculiar, com altos valores encontrados na nascente da bacia, atribuídos à possível ocorrência de processos de lixiviação da floresta atlântica que se desenvolve nesta vertente da Serra do Mar (Marques 2004). O autor também ressalta a alta oxigenação neste trecho inicial como fator chave para predominância da forma de nitrato sobre as outras formas do nitrogênio, evidenciando a rapidez do processo de nitrificação favorecido nestas condições. Ao longo da bacia, o autor



verificou uma diminuição dos teores de nitrato, explicadas hipoteticamente pela capacidade de retenção de nitratos na zona ripária e, principalmente, aos processos de desnitrificação bacteriana nos solos úmidos e de absorção de nitratos pela teia de raízes que filtra a água percolada nestas regiões. Um terceiro fator postulado por Marques (2004) seria a assimilação de nitrato pela biota aquática, transformando-o em Nitrogênio orgânico. De modo geral, as concentrações médias de Nitrogênio total, (Tabela 5.1.12), podem ser considerada normais para rios de pequena ordem em bacias florestadas (Marques 2004). O autor relata ainda uma tendência de aumento do Nitrogênio inorgânico dissolvido no período seco, possivelmente em função de uma maior concentração associada ao menor volume de água e, ao menor consumo de Nitrogênio pela biota aquática em função da temperatura. No período chuvoso de verão, o incremento verificado é atribuído a uma maior contribuição do Nitrogênio orgânico, proveniente tanto do maior aporte de matéria orgânica quanto aos processos de assimilação pela biota aquática. De uma forma geral, as concentrações de material particulado em suspensão foram consideradas baixas em comparação a outros rios tropicais. Tal fato é considerado um reflexo das boas condições de preservação da vegetação ciliar nestas bacias.

Em resumo, a alta declividade da encosta da serra provocou diferenças em praticamente todas as variáveis entre os pontos situados na região do início da vertente (cerca de 1 000 m) e aqueles nas porções mais planas (230 m) acarretando um comportamento limnológico diferenciado entre os trechos no alto da serra e a planície litorânea (Marques 2004). Além disso, o autor verificou uma quebra acentuada na continuidade fluvial decorrente da influência dos efluentes urbanos da cidade de Morretes. Marques (2004) enfatiza que a bacia do rio Marumbi pode ser utilizada como referência para monitoramento e recuperação de bacias hidrográficas de pequena ordem de drenagem, pelo fato de que esta bacia encontra-se em ambientes relativamente bem preservados, contendo mata ciliar na maior parte dos percursos (exceto ao redor da cidade de Morretes).

**Tabela 5.1.12: Caracterização da qualidade da água da bacia do rio Marumbi/Nhundiaquara. Os valores reportados são médias de nove pontos amostrais, seis no rio Marumbi e três no rio Nhundiaquara (Marques 2004).**

Variável	Bacia do rio Marumbi/Nhundiaquara	Limite adotado para a classe 1 – águas doces (Conama 357/05).
Clorofila a (µg/L)	0,8 – 7,9	≤ 10,0
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	0 – 1,3	≤ 3,0
Oxigênio dissolvido (mg/L)	7,1 – 8,9	≥ 6,0
pH	6,2 – 7,4	6,0 a 9,0
Fósforo total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários) (mg/L P)	0,010 – 0,014	0,1
Nitrato (mg/L)	0,08 – 0,15	10,0
Nitrito (mg/L)	0,001 – 0,005	1,0
N- amoniacal (mg/L N, para pH ≤ 7,5)	0,018 – 0,05	3,7
N-total (mg/L)	0,25 – 0,5	-
Si(OH) <sub>4</sub> (mg/ L)	0,30 – 1,20	-
Condutividade (µScm-1)	10 – 40	-
Temperatura (°C)	10 – 19	-
MPS (mg/L)	1,0 – 4,5	-

*[Handwritten signatures and initials on the right margin]*

**5.1.6.2.3. Caracterização da qualidade da água na área de influência direta (AID) - eixo Leste-Oeste do complexo estuarino de Paranaguá (CEP), com base em estudos pretéritos**

Os estudos anteriores efetuados no eixo L-O têm evidenciado que a dinâmica espaço-temporal das propriedades físico-químicas e biológicas do complexo estuarino da baía de Paranaguá é controlada primariamente pelos fatores climáticos (regime de chuvas e ventos) os quais por sua vez regulam a intensidade da ação das marés (Knoppers *et al.* 1987, Brandini *et al.* 1988, Rebello & Brandini 1990, Machado *et al.* 1997, Lana *et al.* 2000). Assim, o eixo leste-oeste do CEP exhibe um padrão de estratificação salina somente em situações de fortes marés vazantes, que ocorrem principalmente no período chuvoso de verão (Knoppers *et al.* 1987, Machado *et al.* 1997). Nos demais períodos, observa-se uma variação espacial no padrão de estratificação, com águas bem misturadas nos setores Bravo I e II e uma progressiva estratificação em direção aos setores Charlie I, II e II, Delta e Echo.. Por outro lado, uma coluna d'água praticamente homogênea em todo o sistema pode ser observada após fortes ventos. A temperatura apresenta um padrão de distribuição espacial semelhante ao da salinidade. Não obstante, as variações verticais e horizontais são de pequena magnitude. Uma síntese dos estudos mais recentes é apresentada na tabela 5.1.13.

A transparência da água exhibe uma relação direta com a salinidade, com valores mais elevados ocorrendo no período seco (inverno) nos setores Bravo I e II. Os valores de pH sofrem pouca variação, porém, em diversas ocasiões, são observados valores mais elevados nos setores Charlie Uno, Charlie Dois, Delta e Echo, atribuídos às atividades fotossintéticas (Brandini & Thamm 1994, Machado *et al.* 1997). O oxigênio dissolvido na água de fundo exhibe um gradiente decrescente em direção às regiões internas da baía. Na água de superfície, nenhum padrão definido foi observado. Este comportamento pode ser atribuído à variabilidade espacial nos processos de produção e respiração na coluna d'água e, provavelmente, nos sedimentos superficiais (Stumm & Morgan 1981, Carmouze 1994, Bierman *et al.* 1994, Machado *et al.* 1997). Entretanto, um valor de zero mg/l foi registrado na água de fundo do setor Charlie Dois logo após a realização de uma dragagem, em outubro de 2000 (Kolm *et al.* 2002). O material particulado em suspensão apresenta uma variabilidade acentuada, com valores entre 5,8 e 80 mg·dm<sup>-3</sup> nos setores Bravo Uno e Bravo Dois, entre 6,1 e 169 mg·dm<sup>-3</sup> nos setores Charlie Uno, Charlie Dois e Delta e entre 5,7 e 139 mg·dm<sup>-3</sup> no setor Echo (porção mais interna). Contudo, durante uma operação de dragagem conduzida no canal de acesso e bacia de evolução dos Terminais Portuários da Ponta do Félix (Setor Delta), foram verificados um teor máximo de 936 mg·dm<sup>-3</sup> de material particulado em suspensão, concomitante com um valor mínimo de transparência da água, de 0,15 m. As variações espaciais e temporais não apresentam o padrão esperado de incremento com a diminuição da salinidade, o que parece ser conseqüência da complexa hidrodinâmica do sistema e de processos de ressuspensão dos sedimentos superficiais e penetração da água de fundo de maior salinidade durante a maré enchente (Machado *et al.* 1997).

Em concordância com outros estudos realizados em ambientes costeiros e estuarinos (Garcia-Soto *et al.* 1990, Harrison *et al.* 1991, Mallin 1994, Abreu *et al.* 1995), os valores mais elevados de clorofila-a e nutrientes inorgânicos dissolvidos ocorrem nos

Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like 'H. Yang', 'R.S.', 'M. Morgan', 'J. Stumm', 'M. Carmouze', 'B. Bierman', 'M. Machado', 'K. Kolm', 'G. Garcia-Soto', 'H. Harrison', 'M. Mallin', 'A. Abreu'.

setores Charlie Uno, Charlie Dois, Delta e Echo, durante o período chuvoso (Machado *et al.* 1997, Tabela 5.1.13). Já, os setores Bravo Uno e Bravo Dois apresentam concentrações caracteristicamente menores (Tabela 5.1.13). Para o nitrato e, principalmente para o silicato, um comportamento de mistura mais conservativo pode ser observado, indicando que a drenagem continental constitui a principal fonte destes constituintes (Lana *et al.* 2000). Knoppers *et al.* (1987) e Machado *et al.* (1997) observaram que:

- 1) os setores Charlie I, II e III constituem uma área-fonte para fosfato e amônio, mas constituem um sumidouro para o nitrato. Como conseqüência, as razões N:P (Nitrogênio inorgânico dissolvido: Fósforo inorgânico dissolvido) podem ser menores que a razão de assimilação do fitoplâncton, de 16:1 (por átomos), causando uma limitação potencial da produtividade fitoplanctônica (base da cadeia alimentar em muitos sistemas) pelo nitrogênio. Baixas razões N:P são encontradas invariavelmente em massas de água pobres em oxigênio dissolvido e são associadas com altas concentrações de nitrito (Deuser *et al.* 1978, Hattori 1983). Na baía de Paranaguá, as razões N:P apresentam uma variabilidade espacial e temporal, com valores mais elevados no setor Echo durante o período chuvoso (Lana *et al.* 2000, tabela 5.1.13). Neste período, um aumento nas razões N:P é também observado nos demais setores da baía, devido principalmente ao maior incremento nas concentrações dos nutrientes nitrogenados. Contudo, a predominância de valores menores que 16:1 demonstram que o Nitrogênio constitui o nutriente potencialmente mais limitante para a produção primária da baía (Brandini & Thamm 1994, Machado *et al.* 1997), o que parece ser uma feição comum de muitos ecossistemas costeiros (Nixon 1981, Klump & Martens 1983, Nixon & Pilson 1983, Day *et al.* 1989);
- 2) a região mais externa da baía, representada pelos setores Bravo I e II, pode apresentar concentrações de nutrientes maiores que o esperado com base no gradiente salino de mistura, como conseqüência do incremento no aporte de água doce através de vários rios para o canal da Cotinga e, subseqüentemente, para o canal da Galheta;
- 3) as distorções observadas no padrão das concentrações de nutrientes e material particulado em suspensão em relação ao gradiente salino de mistura constituem o resultado líquido da interação de vários processos biológicos e geoquímicos (adsorção e dessorção em partículas, floculação, denitrificação, difusão), além de aportes antrópico e continental, como observado em outros estudos (Garcia-Soto *et al.* 1990, Grzetic *et al.* 1991, Harrison *et al.* 1991, Selmer & Rydberg 1993, Mallin 1994, Smith & Hithcock 1994).

Em relação à composição do material orgânico particulado, Brandini (1985) verificou que este é constituído basicamente de detritos vegetais provenientes dos manguezais que circundam a baía e, em menor extensão, de células fitoplanctônicas. Machado *et al.* (1997) verificaram um padrão de variação sazonal na composição do material orgânico particulado, em termos da razão Carbono orgânico particulado:clorofila-a: os valores mais elevados foram observados no outono e no inverno e os menores na



primavera e, principalmente no verão. Este padrão é consequência da variação temporal na magnitude relativa das fontes de matéria orgânica particulada para o sistema, com maior contribuição do material fitoplanctônico durante o verão. Entretanto, estudos mais recentes nos setores medianos dos eixos L-O e N-S (Mizerkowski & Machado 2005), não registraram diferenças significativas nas razões COP:clor.-a, entre os períodos chuvoso e seco, sugerindo variações interanuais neste padrão, o que pode ser decorrente dos eventos climáticos como El Niño.

A magnitude dos valores de nutrientes, oxigênio dissolvido, clorofila-a e carbono orgânico particulado sugere que as regiões mediana e interna da baía são caracterizadas por condições que variam de mesotróficas a eutróficas, devido essencialmente ao impacto antropogênico das cidades de Antonina e Paranaguá. O estado trófico da baía de Paranaguá, baseado em taxas anuais de aporte de Carbono orgânico, introduzido tanto pelos produtores primários como de origem externa do sistema estuarino, varia sazonal e espacialmente de quase oligotrófico no inverno nas regiões próximas à desembocadura, a eutrófico no verão nas regiões mais a montante (Machado *et al.* 1997). Provavelmente, o curto tempo de renovação das águas da baía tem desempenhado um importante papel amortecendo o processo de eutroficação natural e cultural do sistema estuarino da baía de Paranaguá. Além disso, os valores destas variáveis estão na mesma faixa de variação de diversos ecossistemas costeiros e até mesmo abaixo dos valores reportados para sistemas caracterizados por eutrofização natural e antropogênica (Machado *et al.* 1997).

Em uma base anual, o eixo L-O pode ser classificado como heterotrófico em decorrência da turbidez relativamente elevada e reduzida disponibilidade de luz na coluna d'água. Assim, o sistema funciona como um depurador de matéria orgânica, principalmente de origem detrítica, natural e antrópica, exportando nutrientes mineralizados para o sistema costeiro adjacente.

É importante ressaltar que, até o momento, existe uma lacuna de informações a respeito dos teores de metais pesados e contaminantes orgânicos tais como hidrocarbonetos de petróleo e organoclorados, e das formas de enxofre na coluna d'água do CEP, o que impossibilita a elaboração de um diagnóstico do grau de contaminação deste compartimento do sistema. Assim, os dados disponíveis permitem apenas caracterizar o estado trófico do eixo leste-oeste do CEP.

**5.1.6.2.4. Qualidade da água na área diretamente afetada (ADA) - Setor Bravo Uno, com base em estudos pretéritos**

Os estudos mais recentes realizados na ADA do TCPP que investigaram variáveis indicadoras da qualidade da água, conduzidos por Machado *et al.* (1997), Abrahão (2000) e Krelling (2004) são sumarizados na tabela 5.1.14.

O estudo de Krelling (2004) verificou que o sistema apresenta um equilíbrio entre a autotrofia e a heterotrofia devido aos valores próximos a 100 % de saturação do CO<sub>2</sub> e do Oxigênio dissolvido, apesar da influência sofrida pela proximidade da costa e de atividades humanas (barcos de pesca na região). Observou ainda uma maior turbidez da água no período de verão com maior influência da drenagem continental.

*[Handwritten signatures and initials on the right margin]*

A área apresentou maiores concentrações de Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), N-amoniaco ( $\text{NH}_4^+$ ), Fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) do que o esperado para o setor Bravo Uno como consequência do incremento no aporte de água doce através de vários rios para o canal da Cotinga corroborando os resultados encontrados anteriormente por Knoppers *et al.* (1987, *apud* Lana *et al.* 2000), Brandini *et al.* (1988), Brandini & Thamm (1994), Machado *et al.* (1997). Em contraste, Machado *et al.* (1997) e Abrahão (2000), encontraram a mesma tendência apenas para o N-amoniaco ( $\text{NH}_4^+$ ).

O material particulado em suspensão apresentou maiores teores no verão do que no inverno, em concordância com Machado *et al.* (1997). Porém, os teores registrados por Krelling (2004) foram relativamente maiores que os obtidos por Machado *et al.* (1997). Neste último, os pontos amostrais foram posicionados no canal da Galheta contrastando com os de Krelling (2004) que estavam praticamente na linha de costa, com maior influência do aporte continental, menor influência da corrente principal da baía de Paranaguá e/ou maior influência antrópica aumentando o material particulado em suspensão.

O estudo de Krelling (2004) registrou ainda um aumento nos teores de clorofila indicando um aumento da densidade fitoplanctônica ao longo da última década. Entretanto, os valores da razão N:P encontrados por Krelling (2004) foram, em geral, menores que os dos estudos anteriores, sugerindo que o sistema pode ser limitado pelo Nitrogênio disponível. Razões N:P menores que 16:1 (por átomos) indicam a limitação potencial da produtividade fitoplanctônica (base da cadeia alimentar em muitos sistemas) pelo Nitrogênio.



Tabela 5.1.13: Faixa de variação dos descritores físico-químicos da coluna d'água nos setores da AID do TERPAR - Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá.

Setor	Ano	Sal	pH	OD (mg.L <sup>-1</sup> )	Secchi (m)	MPS (mg.L <sup>-1</sup> )	Chl. -a (µg/l)	N-NO <sub>3</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>2</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	P-PO <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	Si(OH) <sub>4</sub> µM	N:P
Alfa + despejo*	2004	35-36	8,14-8,22	6,3-7,3	2,6-3,3	24,8-38,1	0,75-2,67	0,0-0,0003	0,003-0,0002	0,004-0,035	0,008-0,11	4,8-6,7	1,9-8,3
Bravo I*	2004	31,5-35	8,2-8,31	5,21-8,83	1,8-2,1	20,2-80	1,02-2,96	0,0-0,003	0,0004-0,001	0,0013-0,012	0,002-0,012	11-20	1-7,7
Bravo II*	2004	27-35	7,88-8,21	6,33-7,21	0,6-1,6	9,0-76	2,08-6,2	0,0-0,22	0,25-0,48	0,008-0,055	0,011-0,026	9,2-27	2,4-11
Bravo I e II <sup>2</sup>	1994/1995	16-35	7,7-8,2	5,0-8,2	1,0-6,6	5,8-64	0,03-15	0,001-0,038	0,0-0,006	0,006-0,087	0,007-0,046	3,3-32	0,9-27
Bravo I <sup>3</sup>	1998/1999	24-32	8,0-8,1	6,5-8,3	2,8-3,3	6,4-29	5,0-15	0,001-0,022	0,0008-0,003	0,009-0,036	0,006-0,019	7,5-35	3,1-12
Charlie I e II*	1004	23,4-28,8	7,97-8,06	6,92-8,53	1,3-1,9	21-84	1,96-6,54	0,036-0,068	0,006-0,009	0,020-0,077	0,021-0,031	34-61	6,1-10
Charlie I e II <sup>3</sup>	1998/1999	15,8-28	7,9-8,2	3,7-9,1	1,0-2,8	6,1-68	10,6-22	0,0003-0,011	0,001-0,004	0,010-0,11	0,006-0,028	16-47	3,0-18
Charlie II <sup>4</sup>	2000/2001	23-30	7,0-8,4	0,0-10	0,5-4,0	22-169	0,01-32	0,0-0,073	0,0001-0,050	0,0008-1,95	0,006-2,11	2,5-91	0,4-14
Charlie I <sup>5</sup>	2002	30-35	8,0-8,1	6,9-7,4	2,0-2,4	22,6-43	2,9-5,5	0,004-0,053	0,0014-0,008	0,015-0,048	0,019-0,074	12,1-28	0,2-0,4
Charlie I, II e Delta e Echo <sup>2</sup>	1994/1995	12,5-32	7,6-8,2	5,0-8,1	1,2-4,2	8,1-91	0,89-13	0,002-0,071	0,0006-0,012	0,94-0,013	0,010-0,037	1,5-55	1,4-28
Baía das Laranjeiras <sup>6</sup>	1999-2000	4-33	6,7 - 8,5	56 - 197	0,5 - 4	8,6 - 115,5	1,4 - 47	ND - 0,122	0,0006 - 0,022	0,004 - 0,143	0,003 - 0,112	5,3 - 114	1,2 - 36,4

<sup>1</sup>CETEC (2004); <sup>2</sup>Machado *et al.* (1997); <sup>3</sup>APPA/CEM (1999); <sup>4</sup>kolm *et al* (2002a); <sup>5</sup>RAP (2003); <sup>6</sup>Brandini (2000). As unidades de silicato estão em µM.

Tabela 5.1.14: Faixa de variação dos descritores físico-químicos da coluna d'água nos setores da ADA do TERPAR - Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá

Ano	Período	Salini- dade	T °C	pH	Secchi (m)	OD (mg.L <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>3</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>2</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	P-PO <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	N:P (molar)	MPS (mg/L)	Chl.-a (µg/l)
1995	inverno	28,5-31	18,59-19,8	8,08-8,15	2,8-3,83	6,51-7,76	0,0008- 0,0015	0,003-0,011	0,014-0,026	0,021-0,025	2,76- 2,89	24,2-39,96	0,8-2,8
	verão	24,16-29	24,6-27,23	8,08-8,15	1,6-4,46	5,78-5,96	0,0007-0,004	0,003-0,012	0,017-0,033	0,013-0,019	5,68- 7,13	30,7-56,5	1,1-11,8
2000	inverno	31-36	15-19	-	1,2-8	-	0,0003-0,003	0,008-0,017	0,011-0,096	0,015-0,081	-	-	2,3-9,1
	verão	25-34	26,0-30,8	-	0,8-7,1	-	0,0004-0,002	0,002-0,012	0,011-0,189	0,006-0,028	-	-	1,8-9,8
2004	inverno	29,4-29,5	20,8-20,9	8,03-8,08	1,35-1,85	7,34-8,17	0,001-0,002	0,002-0,004	0,009-0,019	0,011-0,014	2,21- 4,89	13,41-58,85	4,12-14
	verão	26,09-27,68	26,36-27,57	8,12-8,29	1,4-2,0	9,04-11,64	0,002-0,003	0,0006-0,010	0,012-0,347	0,010-0,048	1,08- 42,92	39,45-72,46	5,992-17,778

Fonte: Krelling (2004).

Em suma, o setor Bravo Uno que emerge da comparação dos três estudos, apresenta características hidroquímicas consistentes com o de uma área de desembocadura estuarina e com a variabilidade e magnitude dentro da faixa de variação reportada para outros sistemas costeiros.

Em relação à qualidade microbiológica, os estudos realizados na área diretamente afetada contemplando coliformes termotolerantes e *Escheria coli* são sumarizados na tabela 5.1.15. A Resolução Conama 357/05 dispõe para as águas salobras da classe 2, que não deverá ser excedido o limite de 2 500 por 100 ml, de coliformes termotolerantes, em 80% ou mais de pelo menos seis amostras durante um período de um ano, com frequência bimestral. O único estudo que cobriu o período de um ano foi de Siqueira (2006), o qual teve frequência trimestral com uma única amostra na área da desembocadura das gamboas do Perequê e Penedo.

Os valores reportados sugerem que a gamboa do Perequê/canal do DNOS e a gamboa do Penedo constituem fontes potenciais de contaminação por coliformes termotolerantes para área diretamente afetada pelo empreendimento. Entretanto, nenhum dos estudos realizados satisfaz as exigências da Resolução Conama 357/05, descritas acima. Assim, estes dados devem ser considerados apenas como indicadores preliminares da qualidade da água nesta área.

**Tabela 5.1.15: Resumo das informações sobre a qualidade microbiológica na área diretamente afetada pelo TCPP. (O valor alerta para as águas salobras de classe 2 é de 2 500 por 100 ml).**

Área	Período	Fase da maré	Coliformes Totais (NMP.100ml <sup>-1</sup> )	<i>E. coli</i> (NMP.100ml <sup>-1</sup> )
Desembocadura da Gamboa do Maciel <sup>(1)</sup>	02/04/2004	Baixa-mar	1732,9	344,8
		Preamar	770,1	686,7
Desembocadura da Gamboa do Maciel <sup>(2)</sup>	Junho/2005	Baixa-mar	1754,0 - 2827,2	250,8
		Preamar	1226,2 - 2599,4	1540,2
Desembocadura da Gamboa do Maciel <sup>(2)</sup>	Janeiro/2006	Baixa-mar	922,2 - 1373,4	387,0 - 522,6
		Preamar	330,0 - 1158,8	281,6 - 689,6
Desembocadura do CEP <sup>(3)</sup> Gamboa do Perequê <sup>(4)</sup>	26/02/1997 Julho/1999	Preamar	1200	700
		Preamar + Baixamar	380 - 24000	10 - 24000
Desembocadura da Gamboa do Perequê <sup>(5)</sup>	Abril/2003- Abril/2004	Preamar	5000-20000	<200 - 3000
		Preamar	5000 - 17000	<200 - 800

Fonte: <sup>(1)</sup>Corrêa (2004), <sup>(2)</sup>Nowicki (2006), <sup>(3)</sup>Kolm et al. (2002), <sup>(4)</sup> Kolm & Andretta (2003), <sup>(5)</sup>Siqueira (2006)

### 5.1.6.2.5. Qualidade da água na área diretamente afetada (ADA) – segundo a Resolução Conama 357/05 (Classe II - Águas Salobras)

#### 5.1.6.2.5.1. Campanha de Fevereiro de 2007

A faixa de variação da salinidade confirma a classificação da área investigada como de águas salobras (Figura 5.1.69). Os resultados indicam estratificação salina (p=0,0004), quando comparamos a água de superfície e de fundo (Figura 5.1.70), a qual foi acompanhada por diferença significativa entre os valores de pH de superfície e de



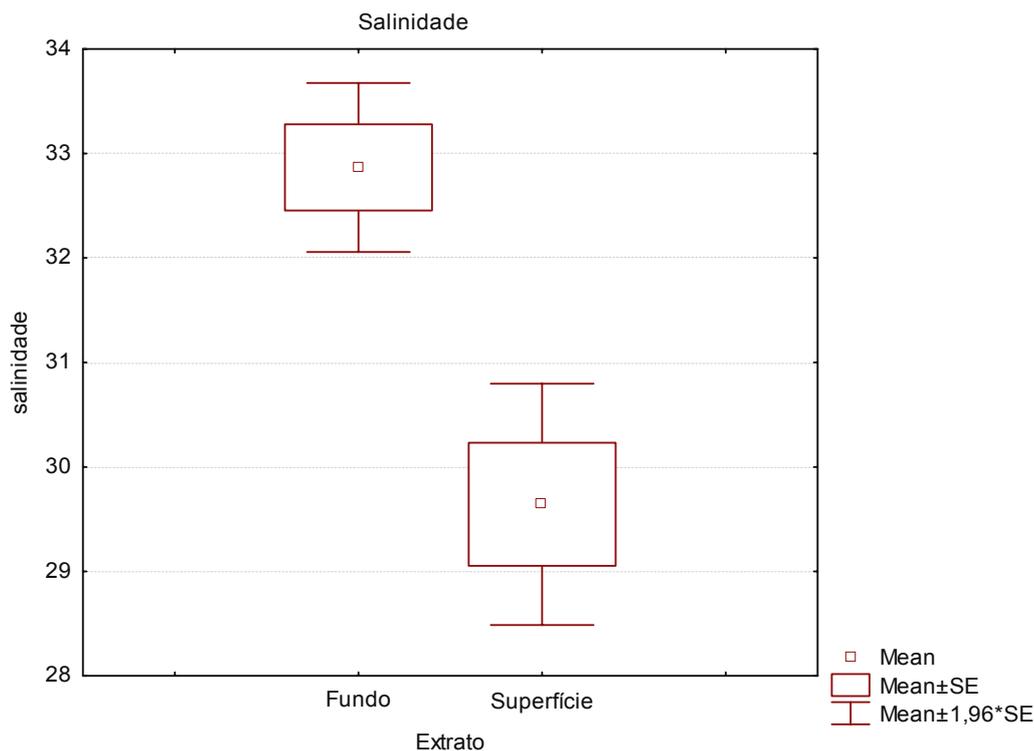


Figura 5.1.70: Valores médios ( $\pm$  desvio padrão e erro padrão) de salinidade da água de fundo e de superfície, na área de influência do TCPP.

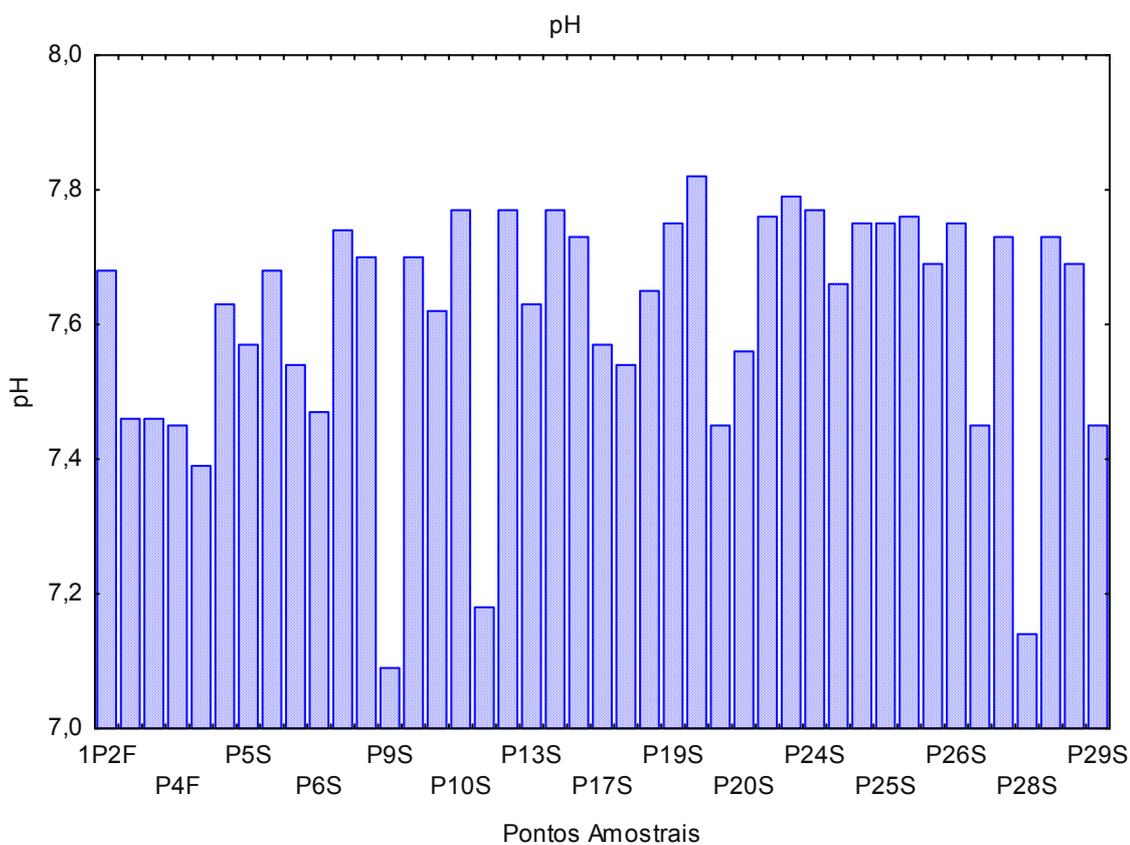


Figura 5.1.71: Distribuição do pH na coluna d'água na área de influência do TCPP.

[Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like 'H. Yang', 'R.S.', and others.]

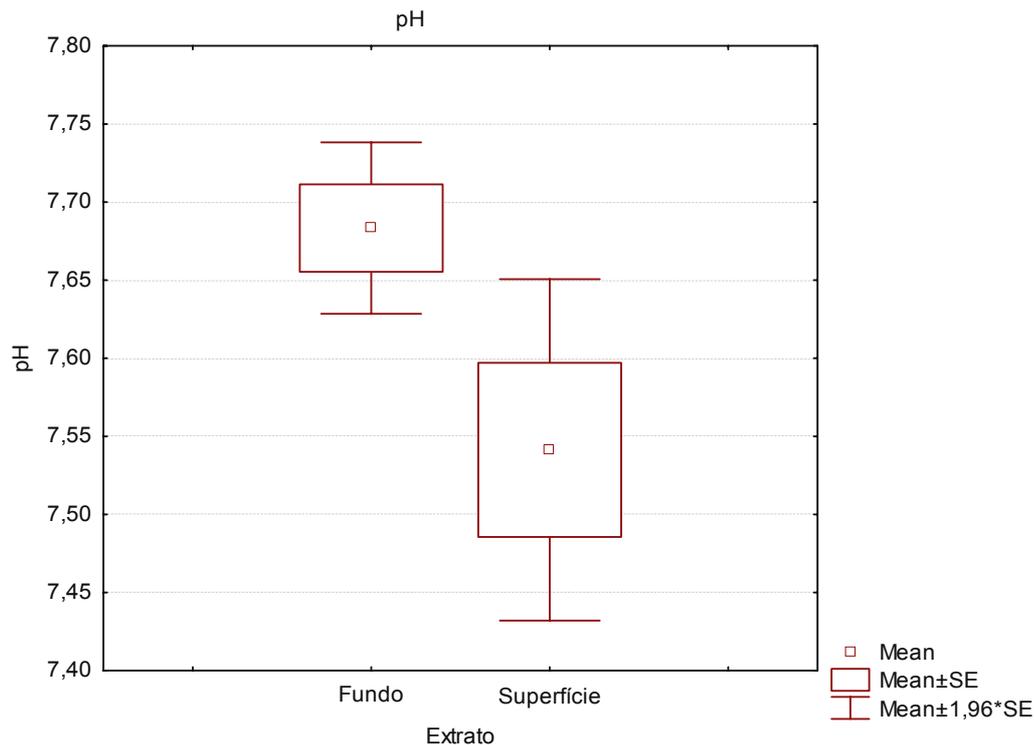


Figura 5.1.72: Valores médios ( $\pm$  desvio padrão e erro padrão) do pH da água de fundo e de superfície, na área de influência do TCPP.

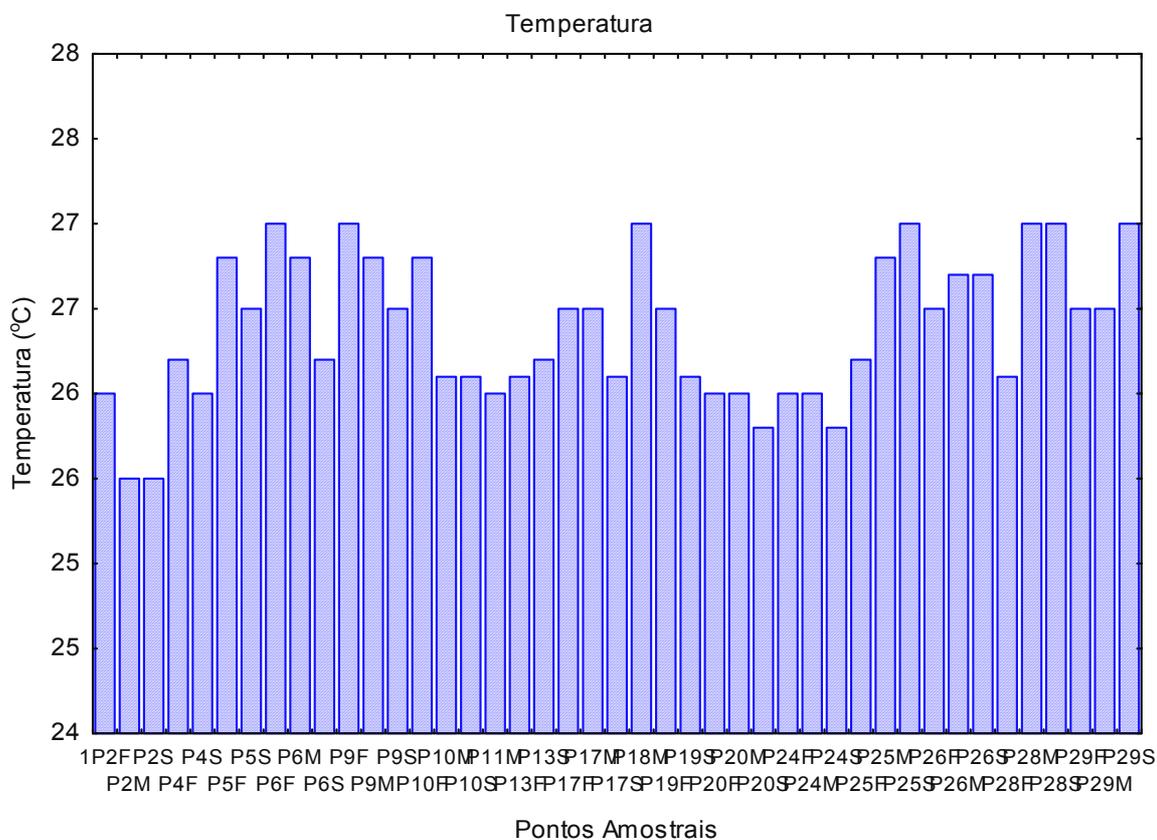
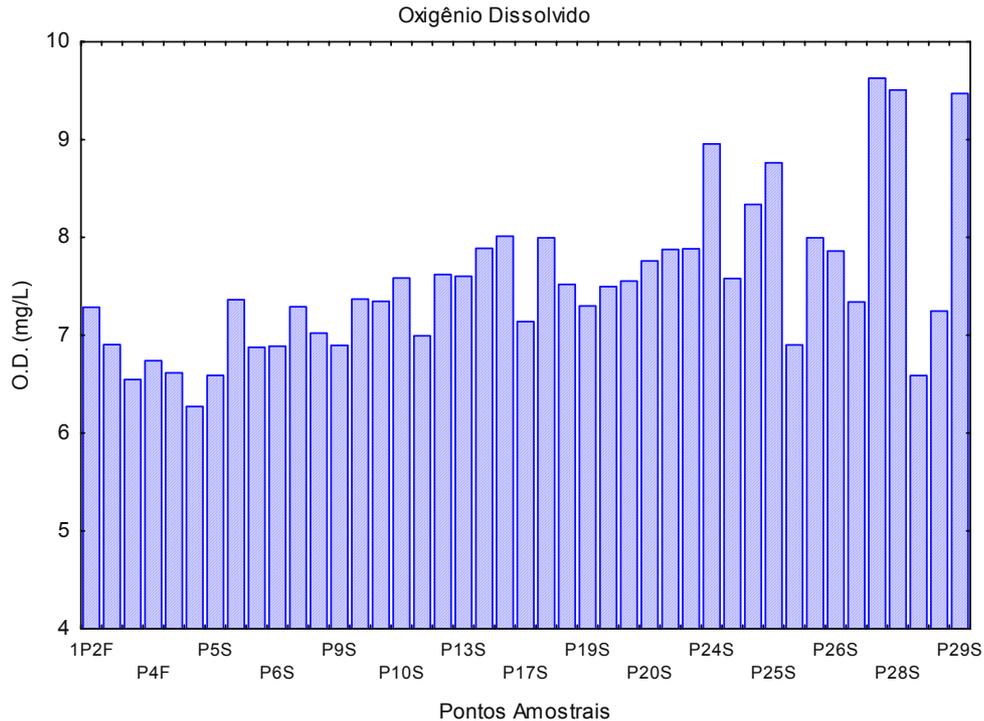


Figura 5.1.73: Distribuição da temperatura na coluna d'água na área de influência do TCPP.

[Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like 'H. Yang', 'R.S.', and others.]



**Figura 5.1.74: Distribuição do oxigênio dissolvido ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) na coluna d'água na área de influência do TCPP.**

As figuras 5.1.75 a 5.1.78 apresentam as distribuições dos nutrientes inorgânicos dissolvidos na coluna d'água na área de influência do TCPP. Como pode ser verificado, as concentrações de fosfato, nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal, estiveram dentro da faixa reportada para a área em questão (veja a Tabela 5.1.14). As concentrações máximas de nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal foram menores que os limites preconizados na Resolução Conama 357/05, por fatores de 18, 40 e 11, respectivamente. O padrão levemente decrescente nas concentrações dos nutrientes nitrogenados do primeiro ponto amostrado (P2) até o último (P29) sugere a ocorrência do processo de consumo fotossintético, o que é corroborado pela distribuição observada para o oxigênio dissolvido. Por outro lado, a lacuna de um padrão para o Fósforo inorgânico dissolvido, pode ser decorrente do mecanismo de tamponamento deste constituinte pelo compartimento sedimentar, o qual amortece as variações na coluna d'água.

Como para os nutrientes inorgânicos nitrogenados, as concentrações de Fósforo total e Fósforo hidrolisável total (polifosfato) não violaram os limites críticos estabelecidos pela Conama 357/05 (Figuras 5.1.79 e 5.1.80). Em contraste com os nitrogenados, os valores máximos de P-total e polifosfatos foram menores que os limites críticos por fatores de 2,5 e 1,8, respectivamente. Outra particularidade, é que as concentrações de polifosfato na água de superfície foram significativamente maiores ( $p=0,0056$ ) que as da água de fundo (Figura 5.1.81), provavelmente em virtude da predominância das águas menos salinas e, portanto de menor densidade, oriundas da drenagem continental no estrato superficial. Tais resultados indicam que a coluna d'água da área do empreendimento é mais suscetível ao enriquecimento por Fósforo, especialmente

proveniente de efluentes domésticos. Como visto na seção anterior, as principais fontes antrópicas para esta área são, provavelmente, a gamboa Penedo e a gamboa do Perequê (em conjunto com o canal do DNOS).

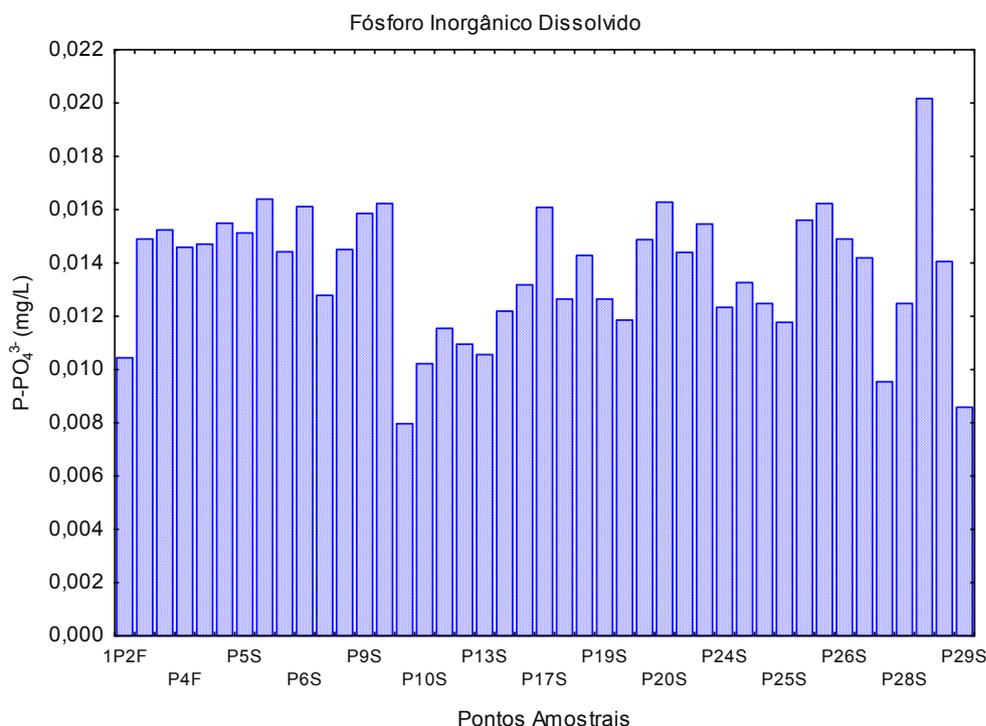


Figura 5.1.75: Distribuição do fósforo inorgânico dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>) na coluna d'água na área de influência do TCPP.

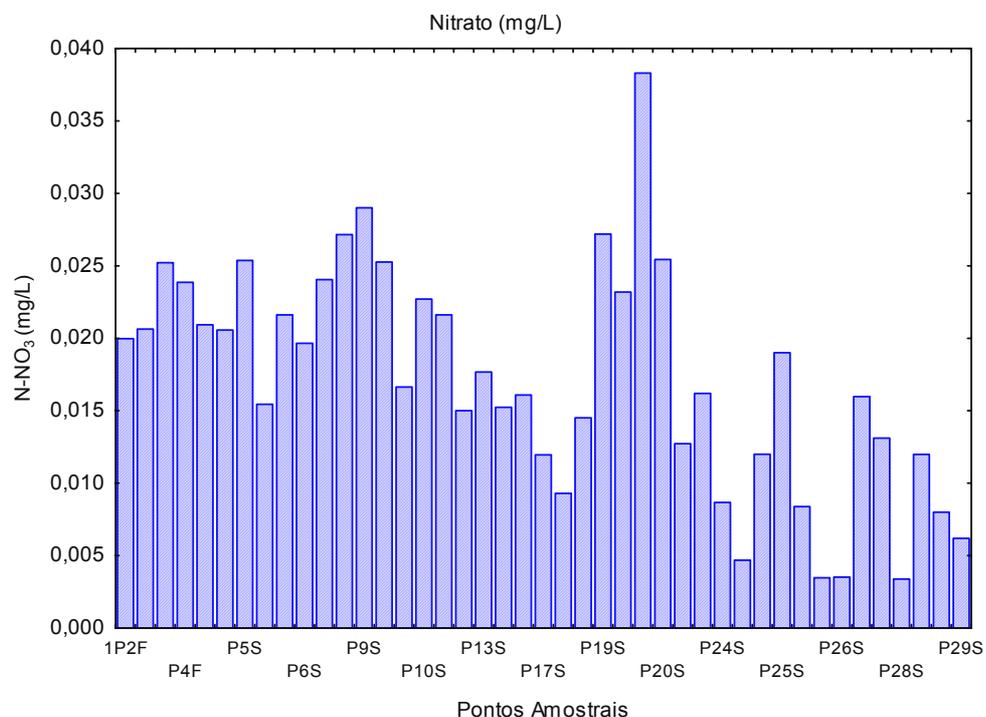
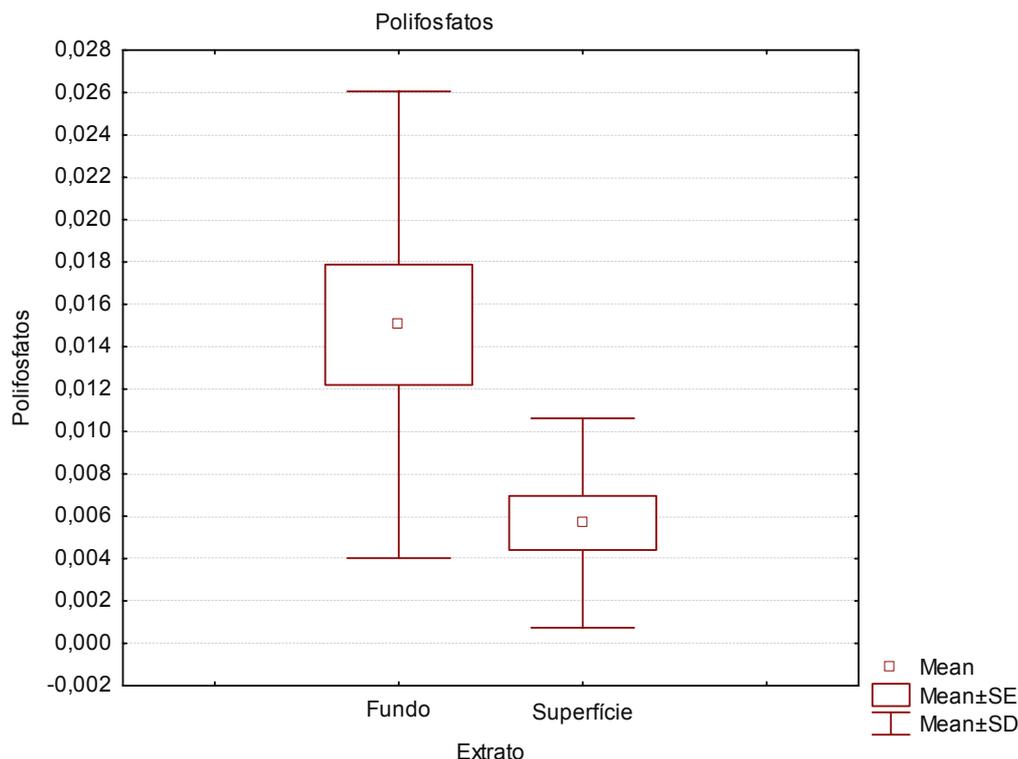


Figura 5.1.76: Distribuição do nitrato (mg.L<sup>-1</sup>) na coluna d'água na área de influência do TCPP.

[Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like 'H. D.', 'R. S.', and others.]







**Figura 5.1.81: Valores médios ( $\pm$  desvio padrão e erro padrão) de polifosfatos da água de fundo e de superfície, na área de influência do TCPP.**

A transparência da água variou de 0,6 a 1,9 m (Figura 5.1.82), estando dentro da faixa de valores reportados para a área em questão (Tabela 5.1.14). Entretanto, o valor máximo registrado foi relativamente baixo quando comparado com os estudos de Abrahão (2000) que efetuou um transecto de Pontal do Sul até a Ilha do Mel, e Machado *et al.* (1997), que estabeleceram os pontos amostrais no canal de navegação, Por outro lado os valores mais elevados registrado no presente estudo estiveram na mesma escala dos resultados reportados por Krelling (2004). Esta comparação sugere que a transparência sofre uma redução na área mais próxima da margem, onde foram coletados os dados do presente estudo e os de Krelling (2004).

O material particulado em suspensão (MPS), apresentado na figura 5.1.83, mostrou o mesmo padrão da transparência, com teores que se situam dentro da faixa de valores reportados nos estudos anteriores (Tabela 5.1.14), mas com valores máximos mais próximos daqueles observados por Krelling (2004). No presente estudo, verificou-se concentrações significativamente mais elevadas na água de fundo em relação aos demais estratos, especialmente em relação ao de superfície ( $p=0,00009$ ), como pode ser verificado na figura 5.1.84.

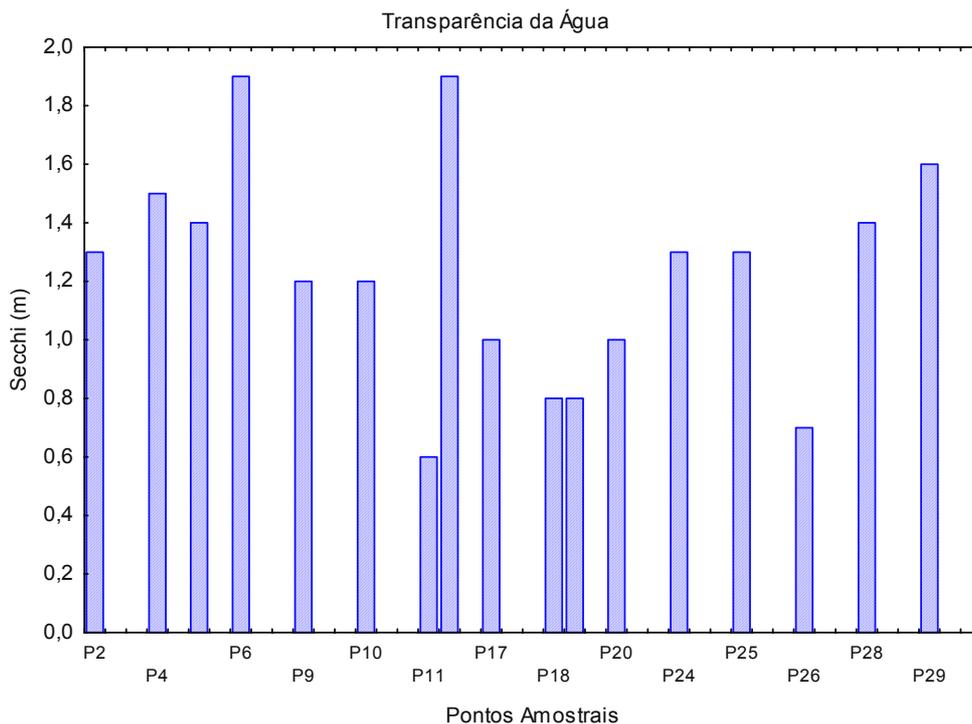


Figura 5.1.82: Distribuição da transparência da água (m), ou Secchi, na coluna d'água na área de influência do TCPP.

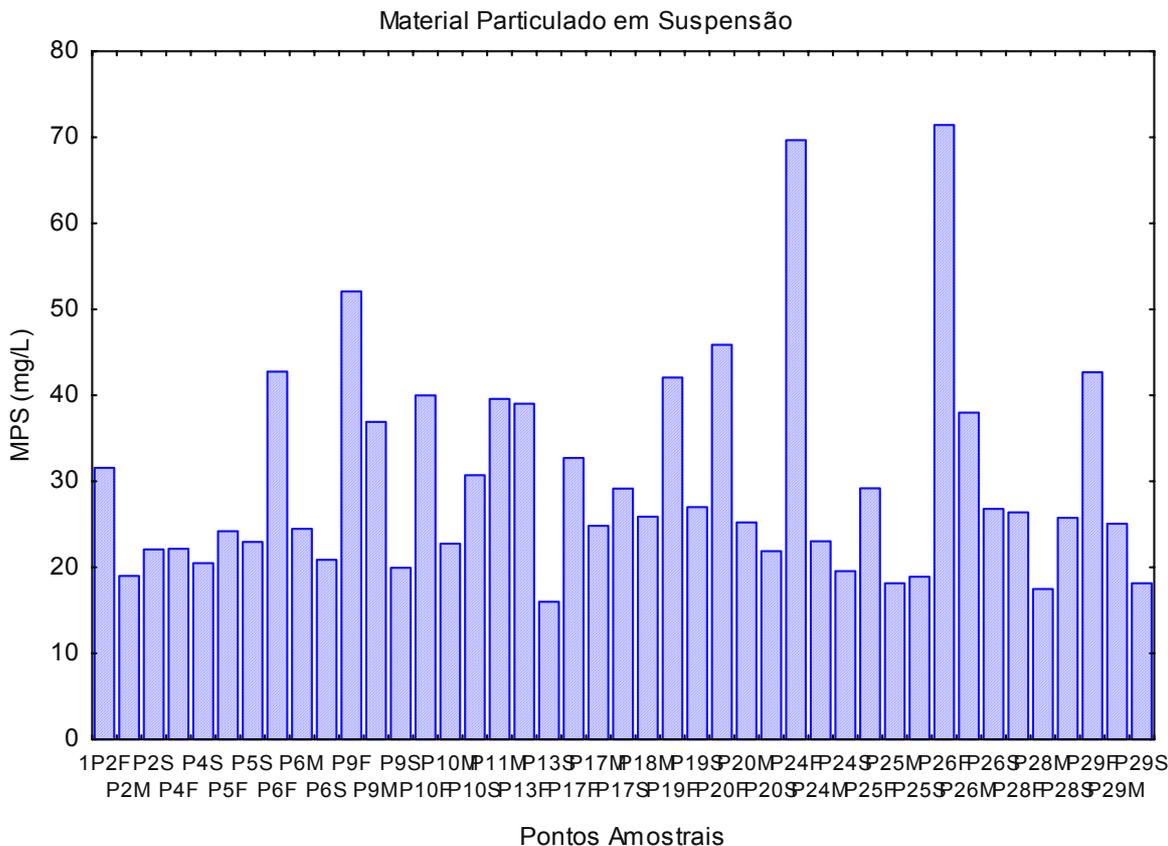


Figura 5.1.83: Distribuição do material particulado em suspensão, MPS (mg.L<sup>-1</sup>), na coluna d'água na área de influência do TCPP.

[Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like 'H. Yang', 'R.S.', and others.]

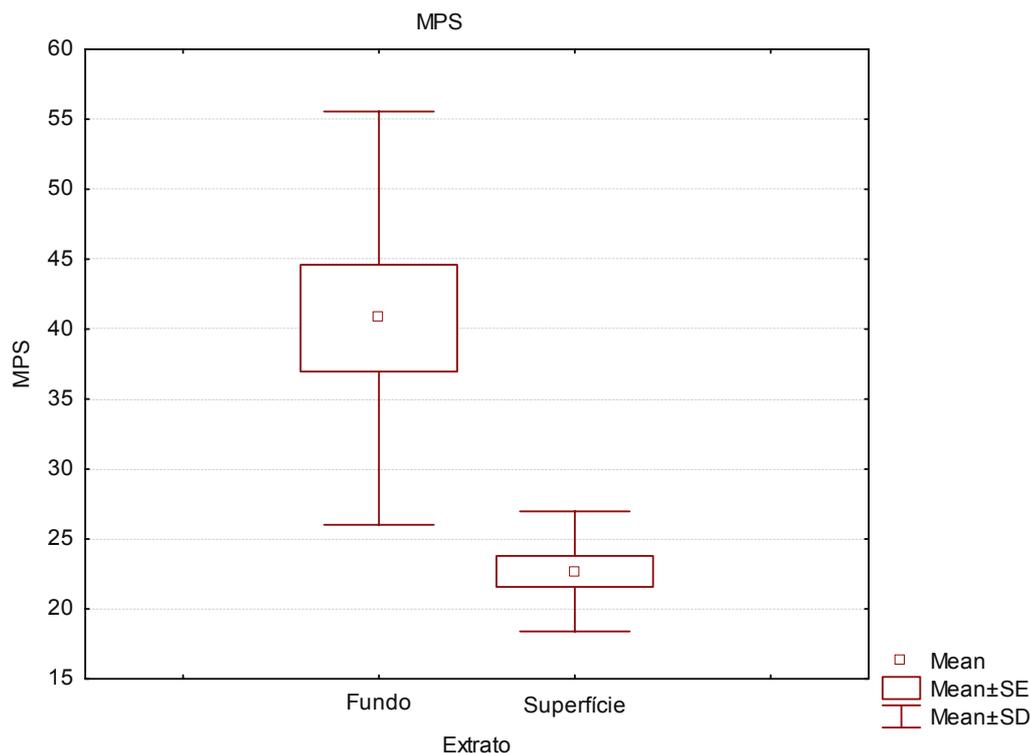


Figura 5.1.84: Valores médios ( $\pm$  desvio padrão e erro padrão) do material particulado em suspensão (MPS) da água de fundo e de superfície, na área de influência do TCPP.

#### 5.1.6.2.5.2. Campanha de Março de 2007

Como para o Oxigênio dissolvido (apresentado no tópico anterior), nenhum dos contaminantes inorgânicos e orgânicos investigados nas águas de superfície, meia-água e fundo das dez estações amostradas violou os limites críticos adotados pela Resolução Conama 357/05 (Tabela 5.1.16).

Além disso, todos os elementos e compostos analisados estiveram abaixo do limite de detecção do método utilizado. Tal resultado já era esperado, posto que a área em questão não apresenta aportes antrópicos associados a indústrias, grandes centros urbanos e provenientes de atividades agrícolas. Assim, o menor número de amostras em relação aos da primeira campanha de amostragem foi adequado, considerando-se o custo elevado das análises destes contaminantes. Por outro lado, este diagnóstico constitui uma radiografia prévia da área afetada pelo empreendimento, a qual poderá ser de grande utilidade para avaliar o impacto do mesmo nos anos vindouros. Cabe, contudo, ressaltar que os TBTs, embora contemplados na resolução, não foram investigados no presente estudo, em razão da dificuldade de encontrar laboratório que efetuasse tal análise. De acordo com os resultados obtidos para os demais contaminantes previstos na Conama 357/05 para águas salobras da classe 2, podemos inferir, com grande margem de segurança, que os TBTs não seriam detectados na coluna d'água da área diretamente afetada pelo empreendimento. Entretanto, tal constatação não permite dizer que o tráfego de navios não causará futuramente a contaminação por compostos organoestânicos na área em questão. Assim, os

programas de controle e monitoramento ambiental propostos no Capítulo 8 deste EIA, incluem as análises de compostos organoestânicos nos sedimentos superficiais, ainda que a versão em vigor da Resolução Conama 344/04 não os contemplem.

**Tabela 5.1.16: Concentrações dos parâmetros inorgânicos e orgânicos na coluna d'água da área diretamente afetada pelo TCPP – Comparação com o limite adotado pela Conama 357/05.**

	Concentrações na coluna d'água (pontos 1 a 10 - superfície, meia-água e fundo)	Classe 2 – Águas Salobras Resolução Conama 357/05
<b>Parâmetros Inorgânicos</b>		<b>Valor Máximo</b>
Arsênio Total	<0,010 µg/L As	0,069 mg/L As
Cádmio Total	<0,005 mg/L Cd	0,04 mg/L Cd
Chumbo Total	<0,010 mg/L Pb	0,210 mg/L Pb
Cromo Total	<0,010 mg/L Cr	1,1 mg/L Cr
Níquel Total	<10,0 µg/L Ni	74,0 µg/L Ni
Selênio Total	<0,010 mg/L Se	0,29 mg/L Se
Zinco Total	<0,10 mg/L Zn	0,12 mg/L Zn
Mercúrio Total	<1,00 µg/L Hg	1,8 µg/L Hg
Cobre Dissolvido	<8,00 µg/L Hg	7,8 µg/L Cu
Cianeto livre	<0,001 mg/L CN	0,001 mg/L CN
Cianeto Total	<0,001 mg/L CN	-
<b>Parâmetros Orgânicos</b>		
Aldrin	<0,010	0,03 µg/L
Dieldrin	<0,010	-
α- Clordano	<0,010	0,09 µg/L
γ-Clordano	<0,010	-
p-p'-DDT	<0,010	0,13 µg/L
p-p'-DDE	<0,010	-
p-p'-DDD	<0,010	-
Endrin	<0,010	0,037 µg/L
Endrin aldeído	<0,010	-
Endrin cetona	<0,010	-
Heptacloro epóxido	<0,010	0,053 µg/L
Heptacloro	<0,010	-
Lindano (γ-BCH)	<0,010	0,160 µg/L
α-BCH	<0,010	-
β-BCH	<0,010	-
δ-BCH	<0,010	-
Pentaclorofenol	<2	13,0 µg/L
Toxafeno	<0,10	0,210 µg/L
Endosulfan I	<0,010	-
Endosulfan II	<0,010	-
Endosulfan sulfato	<0,010	-

### 5.1.7. Oceanografia e hidrodinâmica costeira

#### 5.1.7.1. Área de influência indireta (AII)

O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) possui informações históricas satisfatórias a respeito de correntes, marés e campo de massas (temperatura e salinidade da água), assim como meteorológicas, obtidas em registros recentes e regulares pelo Grupo de Física Marinha do CEM/UFPR, e de resultados e dados pretéritos de trabalhos publicados por diversos autores abaixo mencionados.

Handwritten signatures and initials on the right margin of the page.

Nas últimas décadas, vários estudos dos processos hidrodinâmicos para o entendimento do funcionamento da região foram realizados, destacando-se entre eles levantamentos da distribuição da salinidade, temperatura e marés (IPqM 1969), dos sistemas de drenagem e sedimentologia das baías (Bigarella *et al.* 1970, 1978, Soares & Barcelos 1996), da geologia e dinâmica (Lessa *et al.* 1998), do comportamento físico-químico, aporte de água doce e tempo de residência (Knoppers *et al.* 1987), sobre as causas das marés meteorológicas na região (Marone & Camargo 1994), e sobre a dinâmica estuarina (Marone *et al.* 1995, Noernberg *et al.* 2005, Mantovanelli *et al.* 2004). Somente a partir do início dos anos 90, estudos regulares das condições físicas começaram a ser realizados rotineiramente, principalmente no setor entre o porto de Paranaguá e Antonina e na boca do complexo.

A baía de Paranaguá encontra-se no litoral do estado do Paraná, a aproximadamente 25°30' de latitude Sul e 48°30' de longitude Oeste. Apresenta uma área líquida de aproximadamente 600 km<sup>2</sup>, sendo que o eixo L-O do CEP, que inclui as baías de Antonina e Paranaguá, possui uma área de 256 km<sup>2</sup>, volume de 1,404 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> e profundidades médias e máximas de, respectivamente, 5,4 e 33 m (Knoppers *et al.* 1987). Este eixo está conectado diretamente à zona costeira adjacente por dois canais principais denominados de Barra Norte e Galheta, sendo que o eixo N-S conecta-se também ao complexo estuarino de Cananéia (SP) e a zona costeira por um sistema de canais na região de Guaraqueçaba (Figura 5.1.17).

#### 5.1.7.1.1. Oceanografia

Os processos de mistura, circulação e estratificação do complexo estuarino são governados basicamente por três forçantes: a descarga de água doce, as correntes de maré e a transferência de momentum pelo cisalhamento do vento em sua superfície livre; aos quais somam-se as influências exercidas pela geometria do corpo estuarino e pela salinidade e padrões de circulação da região costeira adjacente.

Cada um dessas três forçantes governa um tipo particular de circulação da água:

- a) a descarga de água doce induz a circulação gravitacional;
- b) as correntes de maré governam a circulação residual;
- c) e a fricção do vento causa a circulação induzida pelo vento.

A temperatura superficial da água no CEP oscila entre 17°C no inverno e 32°C no verão (Brandini 1985, Brandini *et al.* 1988) e os gradientes térmicos verticais raramente ultrapassam os 3°C (Knoppers *et al.* 1987). A temperatura apresenta um padrão de distribuição espacial semelhante ao da salinidade. Não obstante, as variações verticais e horizontais são de pequena magnitude. A transparência exhibe uma relação direta com a salinidade, com valores mais elevados ocorrendo no período seco de inverno.

A salinidade varia entre 5 e 34,5 ups, podendo ser observado um gradiente halino horizontal, com valores maiores próximos à desembocadura e valores mais reduzidos na região de Antonina sob maior influência dos aportes fluviais. Padrões bem marcados de sazonalidade e variabilidade espacial são características marcantes em toda baía (Brandini *et al.* 1988). No que diz respeito à estratificação halina, o estuário é

classificado como parcialmente misturado (Tipo B) (Knöppers *et al.* 1987, Marone *et al.* 1995), podendo apresentar-se lateralmente não homogêneo em alguns locais e estágios da maré (Marone *et al.* 1995). Verticalmente, a estrutura da coluna d'água é principalmente homogênea, com exceção de certos momentos, principalmente no início da maré enchente, quando duas camadas de densidades diferentes aparecem bem marcadas. Uma maior estratificação pode ser observada em períodos de elevada vazão fluvial (Knöppers *et al.* 1987). Mantovanelli (1999) classificou a região montante de Paranaguá como um estuário parcialmente misturado, tipo 2, com estratificação vertical de salinidade realçada durante o verão. Com relação à distribuição de suas propriedades, o sistema apresentou-se verticalmente e lateralmente não homogêneo.

A região de Antonina apresenta rápida resposta a elevados valores de precipitação, ocorrendo, nestes casos, valores de salinidade próximos a zero (Figura 5.1.85) e elevado aporte de sedimentos em suspensão. Com isto, a análise da distribuição da salinidade do corpo aquoso como um todo, deve considerar, principalmente, a precipitação dos sete dias anteriores à análise em vez da precipitação total mensal. Já no eixo Sul-Norte, entre a Ponta do Poço e Guaraqueçaba as variações de salinidade são menores, onde os valores mínimos de salinidade são superiores a 5 ups (Figura 5.1.86) (Noernberg 2001).

Antonina - Ilha do Mel (O - L)

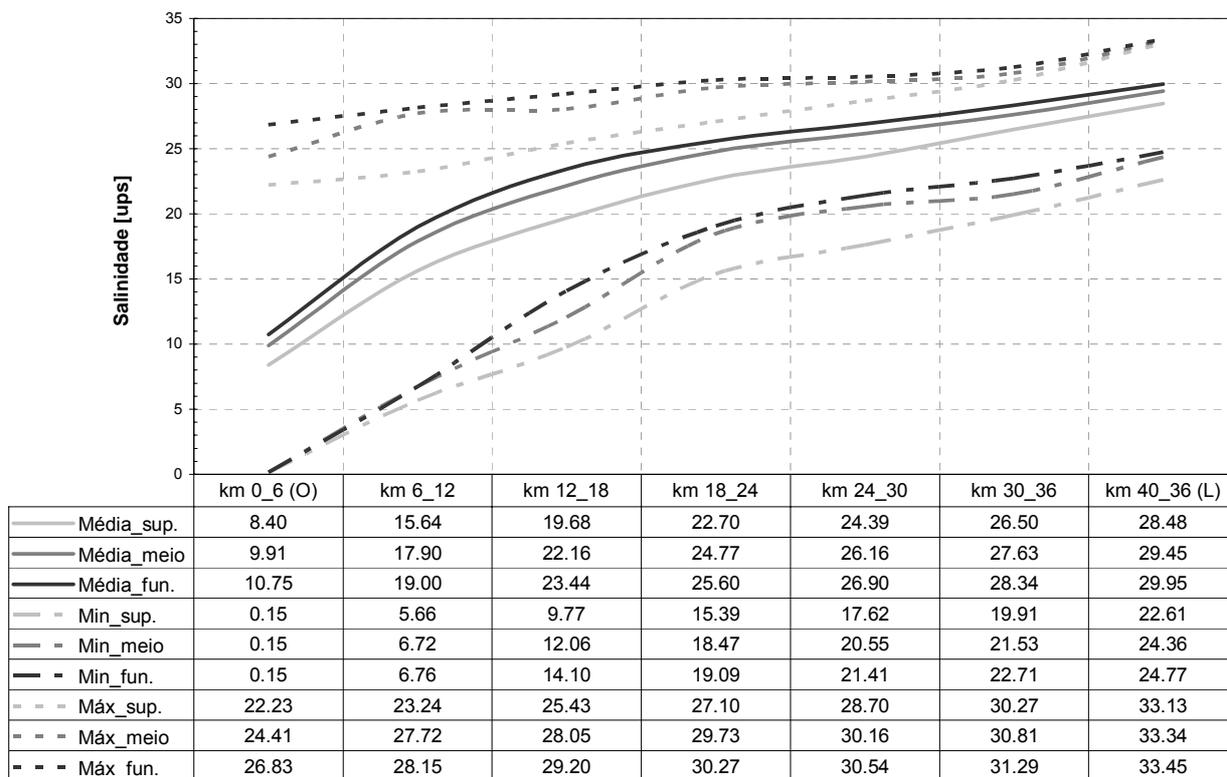
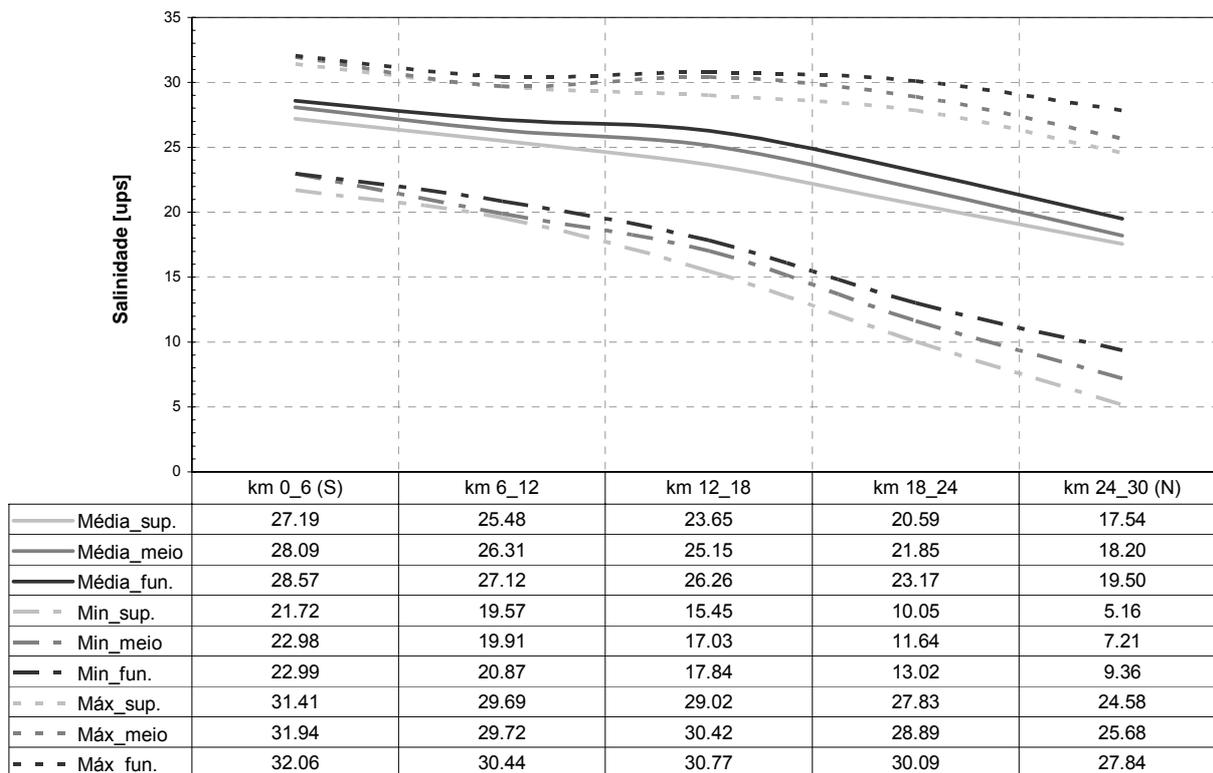


Figura 5.1.85: Variação espaço-temporal da salinidade entre Antonina e Ilha do Mel em um intervalo de 2 anos, agrupada em setores de 6 km. São apresentadas as variações para as camadas de superfície, meio e fundo.

Handwritten signatures and initials on the right margin of the page.

**Ponta do Poço - Guaraqueçaba (S - N)**


**Figura 5.1.86: Variação espaço-temporal da salinidade entre Ponta do Poço e Guaraqueçaba em um intervalo de 2 anos, agrupada em setores de 6 km. São apresentadas as variações para as camadas de superfície, meio e fundo.**

Outra importante diferença nos padrões do CEP pode ser observada entre o verão e o inverno. Não somente os ranges de temperatura variam de acordo com a estação, mas os valores salinos são fortemente influenciados pelos períodos de chuvas e de secas. O pequeno aporte médio de água doce dos rios apresenta variações de até duas ordens de grandeza entre as épocas de estiagem e as de chuva. Todos os fenômenos acima relacionados modificam os padrões de transporte de propriedades, especialmente de calor e massa.

O intercâmbio de propriedades entre o sistema interno e o mar aberto é principalmente governado pelo regime de marés, sendo substancialmente diferente nas marés de sizígia e quadratura. As marés no complexo estuarino da Baía de Paranaguá podem ser analisadas dos registros das alturas do nível do mar em pelo menos seis diferentes estações maregráficas (registros das marés destes locais são representados na figura 5.1.87). Analisados pelo método harmônico resulta um conjunto completo das componentes de maré para a área, sendo os valores da componente Lunar Semidiurna  $M_2$  a mais importante para toda a região.

O regime de maré é o principal mecanismo de fornecimento de energia para o sistema, fora a energia solar, apresentando amplitude média de 2,2 m e caráter predominantemente semidiurno, embora ocorram desigualdades diurnas e efeitos não

*[Handwritten signatures and notes on the right margin]*

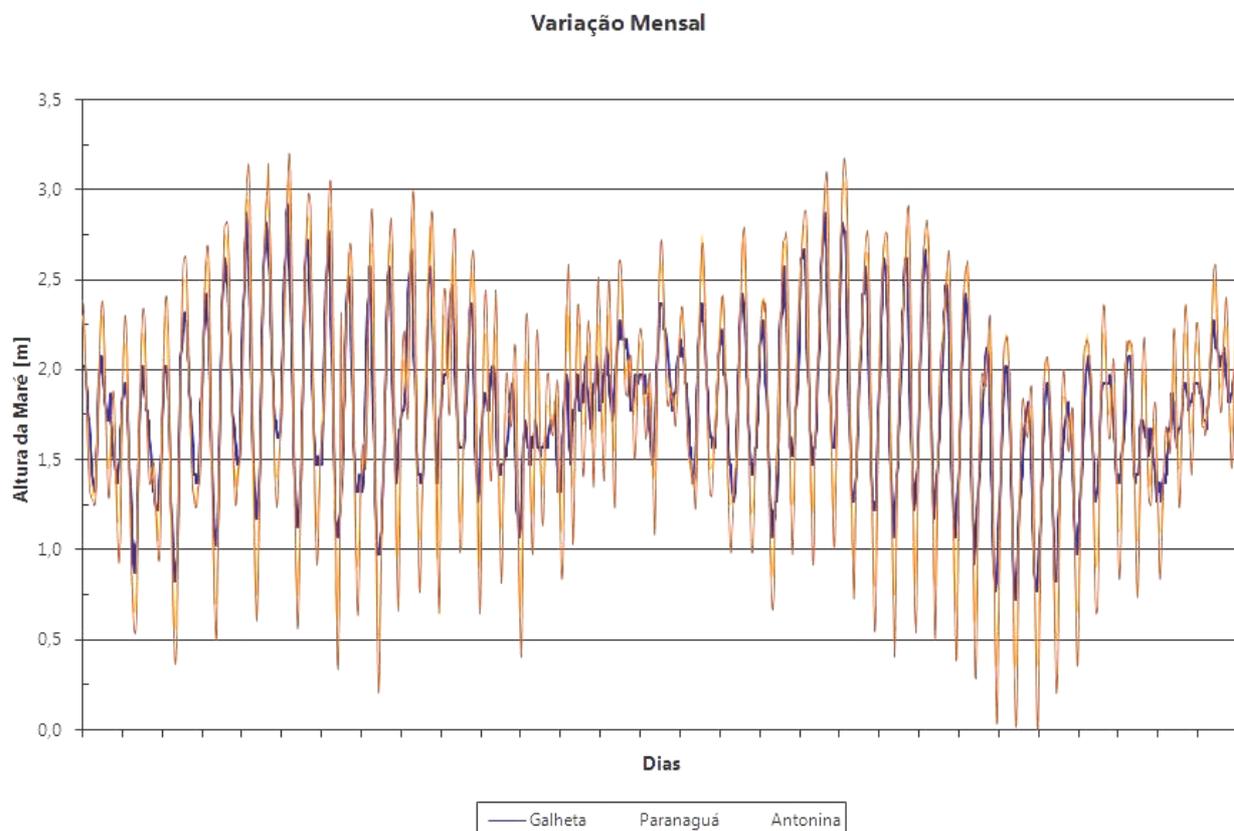
lineares (Marone & Camargo 1994) assim como forte assimetria nas elevações e correntes de maré. Os componentes da maré astronômica mais importantes são a  $M_2$  e  $S_2$  (semidiurnas), representando cerca de 50% da altura da maré. As componentes ter-diurna ( $M_3$ ), quarto diurna ( $M_4$ ) e as compostas, não lineares ou de pequeno fundo ( $MN_4$  e  $MS_4$ ), apresentam grande importância no comportamento da onda de maré, em termos de elevação e velocidades de correntes (Marone *et al.* 1995, Camargo 1998, Marone & Jamiyanaa 1997). As componentes de maré de ordem par e as componentes de pequeno fundo são relevantes, indicando a importância das interações não lineares, que provocam a formação de até seis preamares e baixa-mares por dia em períodos de quadratura. Estas oscilações de mais alta frequência são conhecidas como duplas preamares e baixa-mares. Por outro lado, variações do nível do mar de até 80 cm acima dos valores da maré astronômica têm sido observadas na região, diferenças devidas a efeitos de marés meteorológicas causadas pelas passagens de frentes frias.

O range da maré aumenta da boca para montante do complexo, sendo amplificado significativamente (Tabela 5.1.17). As fases e amplitudes das marés indicam um regime misto para a propagação da onda de maré, na região intermediária, sendo progressiva na entrada do complexo e estacionária na região de Antonina. A baía de Paranaguá apresenta-se como um estuário hipsíncrono, onde o efeito de convergência excede o de atrito, resultando numa amplificação da variação do nível do mar em direção à montante. Esta variação começa com 1,2 m em Pontal do Sul e atinge até 2,8 m em Antonina (Lessa *et al.* 1998, Mantovanelli 1999). Esta amplificação da maré é controlada basicamente por ressonância, que depende da frequência de oscilação da onda de maré e do comprimento do estuário (Camargo 1998). Alterações anormais do nível médio do mar são comuns, principalmente durante o inverno, atribuídas à passagem de frentes frias oceânicas e a ventos fortes, que geram grandes ondas e causam o empilhamento de água na costa (Marone & Camargo 1994). A intrusão da maré alcança aproximadamente 13 km e a renovação de água do sistema ocorre em 3,5 dias (tempo de fluxo) (Marone *et al.* 1995), sendo esta favorecida pelo regime de mesomaré e pela reduzida profundidade do sistema (Kjerfve *et al.* 1982).

O prisma de maré (volume de água que entra e sai da baía num ciclo de maré) é de  $1,32 \text{ km}^3$ , sendo a Intrusão da maré (distância percorrida pela onda de maré dentro da baía) de 2,63 km e o tempo do fluxo (tempo necessário para que a água do sistema seja trocada) de 3,49 dias. O tempo de renovação da água doce (tempo de fluxo ou descarga) na baía de Paranaguá situa-se entre 3 e 10 dias. Em condições de elevado e constante aporte de água doce, o que geralmente ocorre no verão, o tempo de renovação tende a ser menor.

As correntes de maré são fortes, atingindo velocidades máximas de enchente e vazante superiores a 80 cm/s e 110 cm/s respectivamente, o que caracteriza um estuário do tipo positivo (Marone *et al.* 1995). Isto é devido à influência do atrito lateral e de fundo, o qual é gradativamente maior em direção à cabeceira e gradativamente menor em direção à desembocadura (Camargo 1998) assim como ao aporte de água doce e à circulação residual (Marone *et al.* 1995). A assimetria na velocidade das correntes de maré, presente no CEP, primariamente condiciona o transporte líquido do material em suspensão em uma determinada direção do corpo estuarino (importação

ou exportação). Efeitos episódicos de alta energia (e.g. tempestades) apresentam particular importância, podendo movimentar, em um curto período de tempo, uma carga de MPS superior à verificada durante longos períodos em condições normais. As correntes residuais de maré (modo barotrópico) podem ser significativamente modificadas pelo vento, tanto na região costeira como no interior da baía (Camargo, 1998). Alguns exemplos de registros de maré são apresentados na figura 5.1.87.



**Figura 5.1.87: Registros de maré em diferentes locais do CEP**

**Tabela 5.1.17: Informações da maré.**

Local	Defasagem Sízigia (min)		Defasagem Quadratura (min)		Tempo de Enchente	Tempo de Vazante	Range de Sízigia	Range de Quadratura
	Alta	baixa	Alta	baixa				
Galheta	-	-	-	-	6,8 h	5,5 h	1,74 m	1,30 m
Cobras	69	55	91	75	7,0 h	5,3 h	2,07 m	1,68 m
Paranaguá	88	68	106	93	7,5 h	4,8 h	2,09 m	1,70 m
Antonina	100	110	132	151	8,1 h	4,2 h	2,74 m	2,02 m

A penetração da onda de maré de sizígia no interior CEP produz normalmente uma frente estuarina, importante processo de mistura e transporte. Este fenômeno conspícuo é capaz de trapear material em suspensão e flutuante na zona de convergência da frente, sendo de enorme importância como retentor de poluentes. Mais importante ainda é mencionar que a zona de frente estuarina no eixo L-O ocorre a

*[Handwritten signatures and notes on the right margin]*

montante do Porto de Paranaguá, atingindo a região até quase a desembocadura do rio Nhundiaquara.

Na medida em que as principais forçantes no CEP estão ligadas com o regime de marés, deve-se destacar que as correntes relacionadas a este fenômeno são principalmente oscilatórias, provocando um fluxo e refluxo de água costeira e oceânica, pelo menos duas vezes por dia, dentro do estuário. Ligeiras correntes residuais e de características permanentes, transportam, no caso da baía de Paranaguá, alguma quantidade de água, e suas propriedades como calor, massa, etc., na direção de mar aberto. Situação típica de estuários conhecidos como positivos que é a de exportar água e suas propriedades para mar aberto. As proporções entre a água doce e as correntes residuais provocadas pela maré, as diferenças de densidade, o efeito de rotação da terra, etc. (que determinam o fluxo estuário afora) e o volume de água que entra e sai num ciclo de maré (prisma de maré) é que definem, em primeira instância, a capacidade de mistura e transporte de propriedades existentes no interior do estuário na direção do mar aberto (Tabela 5.1.18).

**Tabela 5.1.18: Informações oceanográficas relacionadas com as marés, configuração espacial e a descarga de água doce por setores do complexo estuarino de Paranaguá.**

Local	Área (km <sup>2</sup> )	Prof. Média (m)	Prof. Máxima (m)	Descarga da Maré (m <sup>3</sup> /s)	Razão Maré/Rio	Prisma (km <sup>3</sup> )
Antonina	35	1,9	8	2352	0,127	0,0945
Paranaguá	117	4,3	17	7862	0,037	0,2808
Galheta	256	7,0	33	17204	0,014	0,5632

As velocidades máximas das correntes de maré em superfície, na plataforma interna, no par de bóias 3-4 são de 0,6 nós (32 cm/s) na enchente (direção 310°) e 1,6 nós (87 cm/s.) na vazante (direção 115°). Neste ponto pode ser observado um desvio entre as margens do canal e as direções de fluxo de maré, o que implica na obstrução parcial dos fluxos de maré vazante, pela margem NE do canal, enquanto que na margem oposta o mesmo ocorre no período de maré enchente. No setor externo da baía de Paranaguá, localizado entre as bóias 11-12, as velocidades máximas de correntes de maré são de 1,1 nós (59 cm/s) nos períodos de maré enchente (direção 320°) e 1,8 nós (97 cm/s) nos períodos de maré vazante (direção 140°). Na Ponta do Poço as velocidades máximas de correntes de maré alcançam 2,6 nós (141 cm/s) nos períodos de maré enchente (direção 270°) e 2,2 nós (119 cm/s) nos períodos de maré vazante (direção 75°). Neste local as correntes de vazante inflectem para o canal da Cotonga, concentrando o fluxo próximo à Ponta do Poço. Na enchente o fluxo inflecte para o canal da Galheta.

Através da realização de fundeios e perfilagens principalmente na frente do Porto de Paranaguá, nas proximidades do Porto de Antonina e no setor externo do canal da Galheta, o Grupo de Física Marinha (GFM) do Centro de Estudos do Mar produziu nos últimos anos mapas de correntes do complexo estuarino da baía de Paranaguá, apresentadas nesta seção.

Handwritten signatures and initials on the right margin of the page.

Outras perfilagens de correntes, por outro lado, foram realizadas nos mais diversos locais do CEP. Nestas medições, com duração mínima de um ciclo completo de maré, em períodos de inverno e verão, e em intervalos de 20 min a 2 h, um ou vários pontos numa seção transversal ao canal, foram amostrados em toda a coluna d'água. Outras observações foram realizadas com perfilagens não numa seção transversal, mas em áreas de interesse, amostrando-se durante os horários de máximas correntes (enchente e vazante) e nos estofos de maré.

O atual banco de dados de correntes do GFM possui valores de velocidades (intensidade e direção) das correntes em diferentes pontos do CEP. Alguns exemplos de séries temporais de correntes no CEP são apresentados na figura 5.1.88. Estes dados foram obtidos com correntômetros tradicionais (modelos SensorData SD6000 e SD30) e correntômetros eletromagnéticos (modelo InterOcean S4). Dois métodos de observação foram utilizados, de maneira genérica, para a obtenção dos valores das correntes: fundeios e perfilagens. Nos principais fundeios realizados, principalmente na frente do Porto de Paranaguá, nas proximidades do Porto de Antonina e no setor externo do canal da Galheta, as amostragens foram realizadas a intervalos de 15 min a 1 h, durante períodos superiores a vários meses, com amostragens em condições de verão e inverno, notadamente diferentes desde o ponto de vista hidrodinâmico. Os fundeios consistiram sempre em dois equipamentos, um amostrando as condições da camada de superfície e outro da camada de fundo.

As correntes de vazante são, em média, 10 a 15% superiores às de enchente. Isto ocorre devido à influência dos atritos lateral e de fundo, que são gradativamente maior em direção à cabeceira e, também, devido ao aporte de água doce e à circulação residual. Na tabela 5.1.19, os valores das correntes (direção e sentido) nas preamaras de sizígia, são apresentados, com a sua correspondente localização (latitude e longitude obtidas com GPS). Nas tabelas 5.1.19 e 5.1.20 somente os pontos observados mais relevantes são incorporados. O tempo de defasagem entre a preamar num local e outro é também apresentado, considerando-se a origem na entrada do complexo (assim, para se conhecer a preamar num ponto a montante, basta adicionar o tempo de defasagem ao horário da preamar na entrada do complexo). Na tabela 5.1.20, a seguir, são colocados os dados de correntes máximas de enchente na superfície, em períodos de sizígia (por tanto, médias das máximas correntes de enchente de sizígia observadas e sua direção com referência ao Norte geográfico), sua posição geográfica (latitude e longitude obtida com GPS). Na tabela 5.1.21, as mesmas informações, mas para as correntes máximas de vazante, são apresentadas.

Na figura 5.1.89, resultados de fundeios de longa duração são apresentados esquematicamente de duas maneiras diferentes:

- Elipse de marés ou diagrama polar das correntes: neste caso, em vermelho, são apresentados os vetores das correntes de enchente e vazante observados nos fundeios de Antonina, Paranaguá e Canal da Galheta.
- Vetores progressivos: em linha preta, acompanhada de setas, é representada a trajetória ideal que uma partícula seguiria durante um par de ciclos de maré (em escala).



Nesta carta, também, são apresentadas as áreas de manguezais obtidas de diversas imagens de satélite utilizadas neste e outros estudos.

Os estudos de ondas no litoral do Paraná são muito reduzidos. Bandeira (1974) analisou as ondas em praia de Leste, a partir de um ano de observações visuais. Entre agosto e dezembro de 1982 um ondógrafo registrou dados de onda a 13 km da praia de Leste e a 2,6 km a Nordeste da Ilha dos Currais. As ondas predominantes foram dos quadrantes ESSE e SE, com altura máxima mensal entre 2,3 e 3,9 m e período médio entre 11,9 e 16,8 s (Portobras 1983). A distribuição do percentual de ondas que chega à costa do Paraná correspondeu a 90%, variando no quadrante Leste para Sul-Sudeste, e cerca de 10% das direções entre Leste e Nordeste (Gobbi 1999). Dentro do complexo estuarino, porém, pouco do efeito do clima de ondas oceânicas é sentido, devido à proteção natural da costa e, especialmente, à Ilha do Mel na entrada do CEP. Todavia, a existência de áreas de largura considerável dentro do CEP oferece uma pista de ventos suficiente para que ondas geradas localmente pelos ventos provoquem, em situações e horários particulares (notadamente no final da tarde), agitação marítima considerável que deve ser considerada em termos de potencial agente de mistura superficial de propriedades (ou de sedimentos em suspensão, ou poluentes).

**Tabela 5.1.19: Correntes médias na preamar de sizígia em superfície. A última coluna mostra, aproximadamente, quanto tempo após a preamar na entrada do estuário (0 min) ocorre a preamar no respectivo local (coluna 1).**

Local (aprox.)	Latitude S	Longitude W	Vel. (nós)	Direção (°)	Após (min)
Bóias 3-4	25°36,36'	48°17,44'	0,3	150	0
Canal da Galheta	25°34,49'	48°19,21'	0,2	130	10
Canal Norte	25°29,37'	48°18,88'	0,2	140	--
Ponta do Poço	25°32,42'	48°22,85'	0,5	200	35
Emboguaçu	25°30,23'	48°33,56'	0,3	250	45
Ilha das Cobras	25°29,28'	48°24,65'	0,3	210	79
Paranaguá – 1	25°29,60'	48°30,00'	0,1	70	98
Paranaguá – 2	25°28,90'	48°29,92'	0,3	130	98
Fospar	25°30,09'	48°33,01'	0,3	40	100
Nhundiaquara	25°27,20'	48°39,80'	0,2	100	102
Ponta do Félix	25°27,30'	48°40,68'	0,3	110	104
Antonina	25°26,52'	48°41,61'	0,3	160	110
Guaraqueçaba	25°17,95'	48°19,92'	0,2	200	--

Handwritten signatures and initials on the right margin of the page, including names like 'H. Yang', 'R. S.', and others.

**Tabela 5.1.20: Correntes máximas de enchente (médias) de sizígia em superfície. As máximas correntes de enchente acontecem aproximadamente entre 3,4 a 4 horas antes da preamar local (duração maior a montante).**

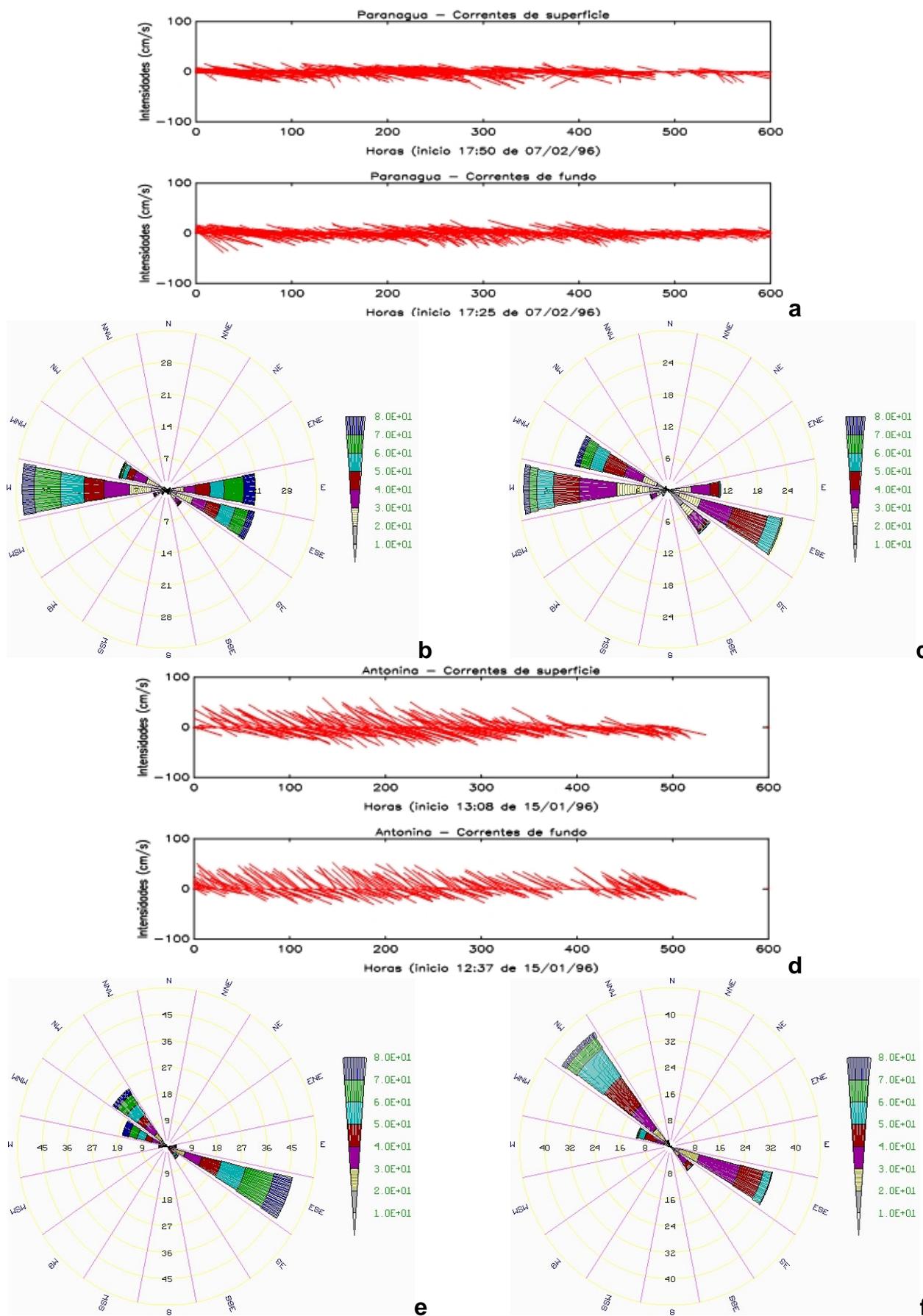
Local (aprox.)	Latitude S	Longitude W	Vel. (nós)	Direção (°)
Bóias 3-4	25°36,36'	48°17,44'	0,6	310
Canal da Galheta	25°34,49'	48°19,21'	1,1	320
Canal Norte	25°29,37'	48°18,88'	1,1	315
Ponta do Poço	25°32,42'	48°22,85'	2,6	270
Emboguaçu	25°30,23'	48°33,56'	1,0	250
Ilha das Cobras	25°29,28'	48°24,65'	1,3	250
Paranaguá -1	25°29,60'	48°30,00'	1,3	260
Paranaguá -2	25°28,90'	48°29,92'	0,9	240
Fospar	25°30,09'	48°33,01'	1,9	260
Nhundiaquara	25°27,20'	48°39,80'	1,0	290
Ponta do Félix	25°27,30'	48°40,68'	1,4	320
Antonina	25°26,52'	48°41,61'	0,6	320
Guaraqueçaba	25°17,95'	48°19,92'	1,0	25



**Tabela 5.1.21: Correntes máximas de vazante (médias) de sizígia em superfície. As máximas correntes de vazante acontecem aproximadamente entre 2,1 e 2,8 horas após a preamar local (diminui a montante).**

Local (aprox.)	Latitude S	Longitude W	Vel. (nós)	Direção (°)
Bóias 3-4	25°36,36'	48°17,44'	1,6	115
Canal da Galheta	25°34,49'	48°19,21'	1,8	140
Canal Norte	25°29,37'	48°18,88'	1,3	145
Ponta do Poço	25°32,42'	48°22,85'	2,2	75
Emboguaçu	25°30,23'	48°33,56'	1,1	50
Ilha das Cobras	25°29,28'	48°24,65'	0,6	160
Paranaguá - 1	25°29,60'	48°30,00'	1,5	100
Paranaguá - 2	25°28,90'	48°29,92'	1,6	40
Fospar	25°30,09'	48°33,01'	2,0	80
Nhundiaquara	25°27,20'	48°39,80'	1,2	110
Ponta do Félix	25°27,30'	48°40,68'	1,9	130
Antonina	25°26,52'	48°41,61'	1,4	140
Guaraqueçaba	25°17,95'	48°19,92'	1,5	205



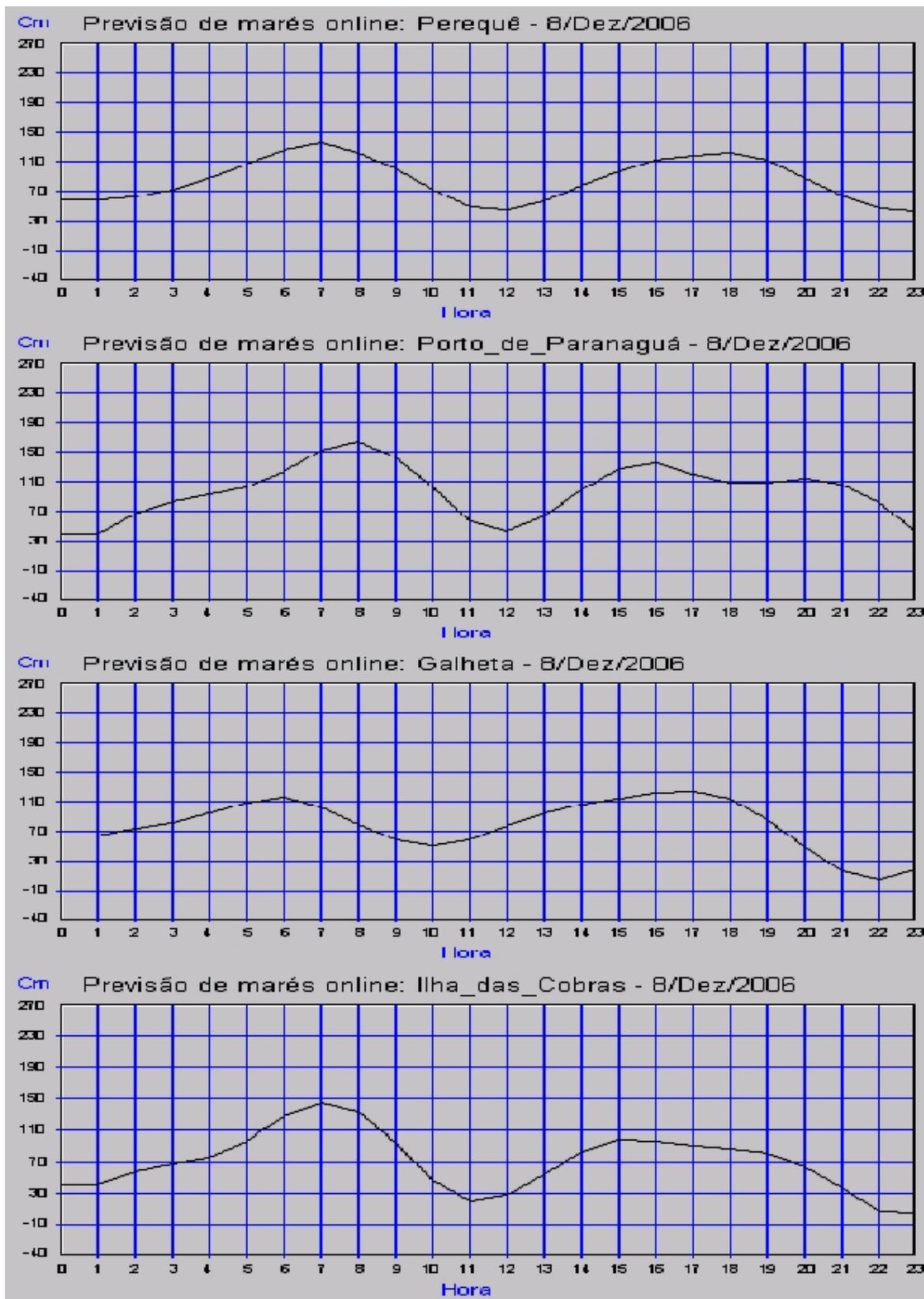


A vertical column of handwritten signatures and initials is located on the right side of the page, including names like 'H.10', 'H. Yang', 'R.S.', and others.

Figura 5.1.88: Alguns exemplos de séries temporais de correntes no CEP (88a a 88f).



Nas proximidades da AID também há registros completos da estação meteorológica do CEM desde 1993. Alguns registros recentes podem ser vistos nas figuras 5.1.91 a 5.1.101.



A vertical column of handwritten signatures and initials is located on the right side of the page, adjacent to the graphs. The signatures are written in black ink and vary in style, including some that appear to be initials or stylized names.

Figura 5.1.90: Registros de maré para locais próximos à AID.

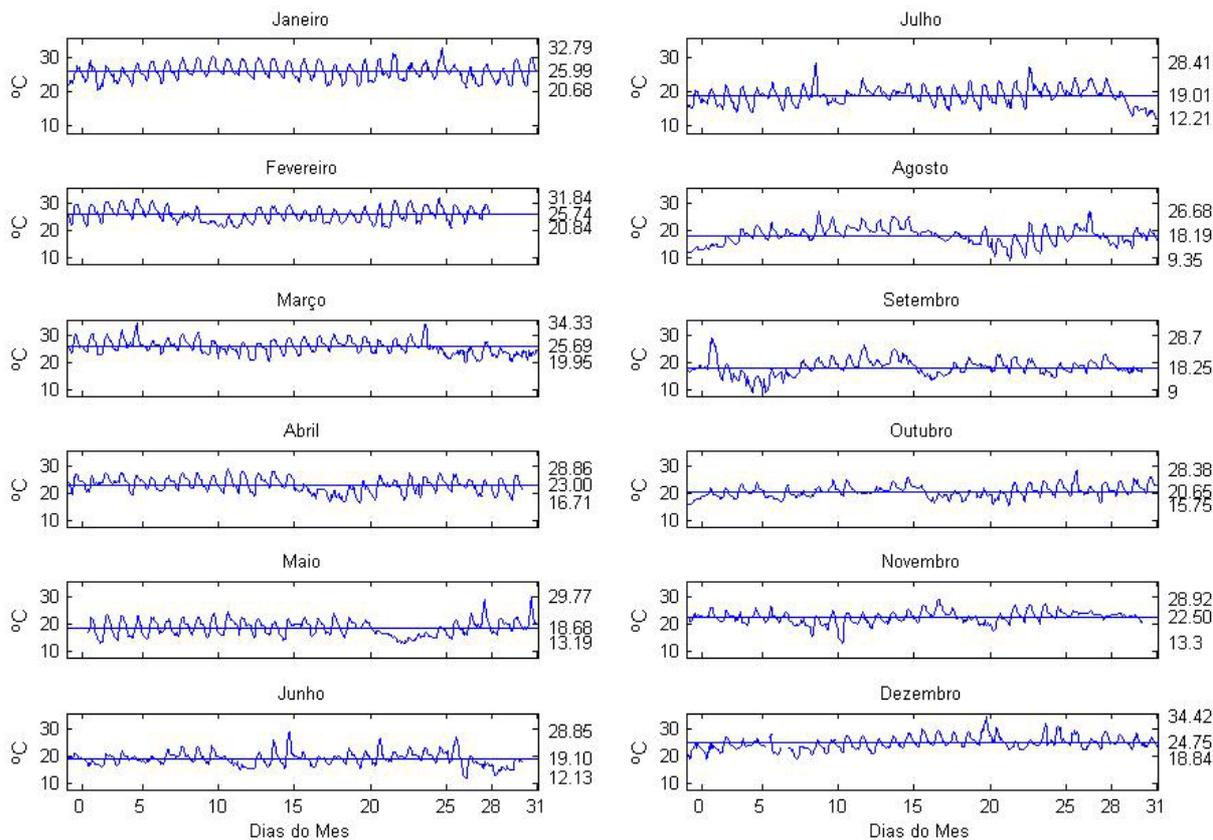


Figura 5.1.91: Registros de Temperatura do Ar, mensais do ano 2006, na estação meteorológica do Grupo de Física Marinha do Centro de Estudos do Mar da UFPR em Pontal do Sul.

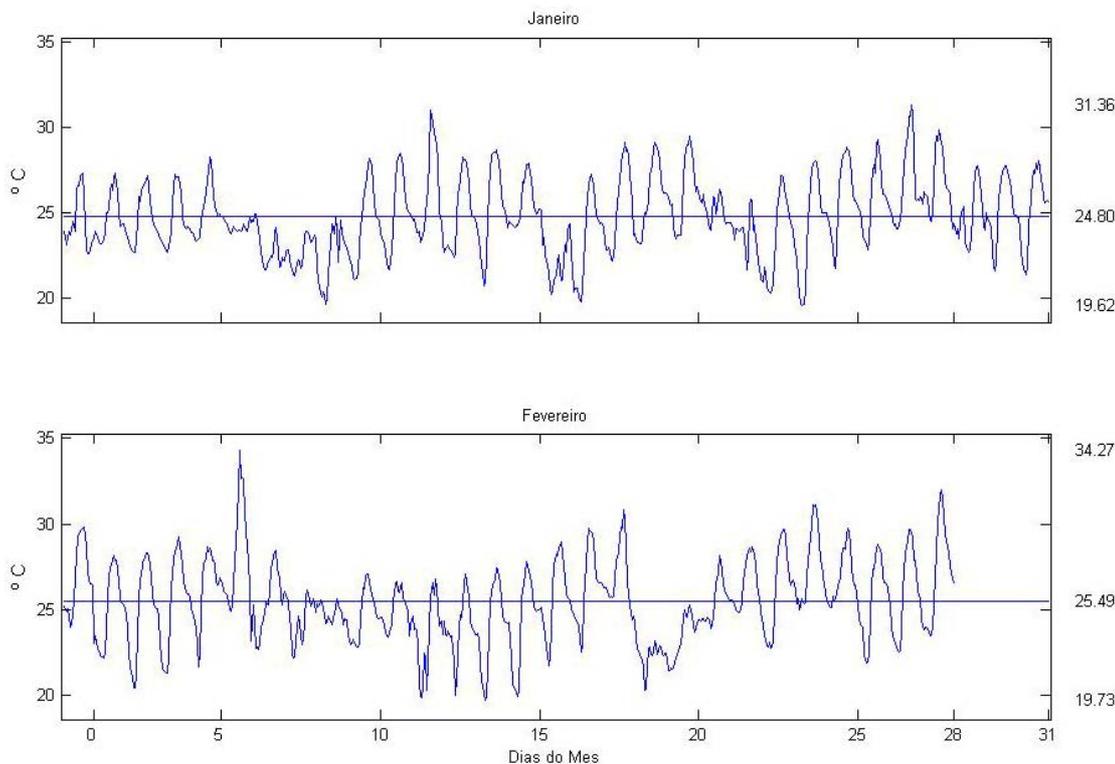


Figura 5.1.92: Registros de Temperatura do Ar, para os dois primeiros meses do ano 2007, na estação meteorológica do Grupo de Física Marinha do Centro de Estudos do Mar da UFPR em Pontal do Sul.

[Handwritten signatures and initials on the right margin of the page]

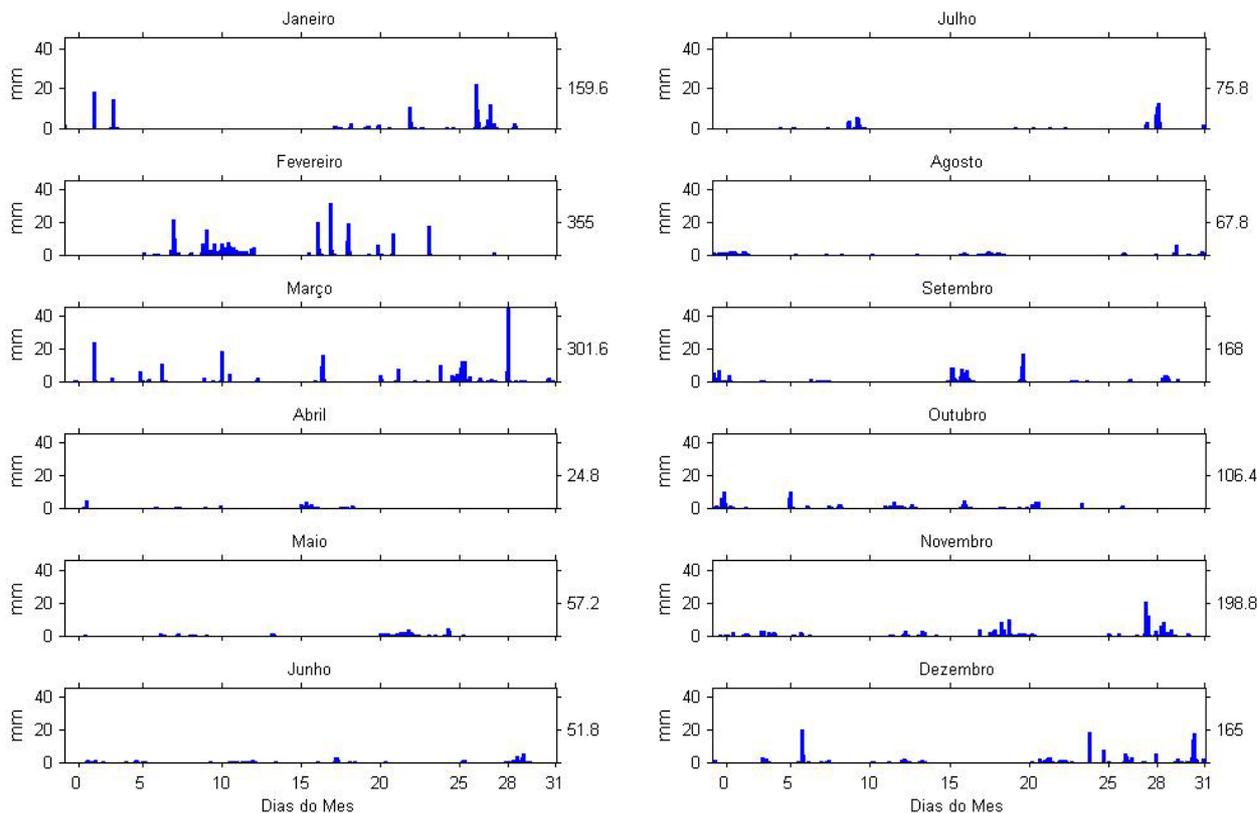


Figura 5.1.93: Registros de Precipitação, mensais do ano 2006, na estação meteorológica do Grupo de Física Marinha do Centro de Estudos do Mar da UFPR em Pontal do Sul.

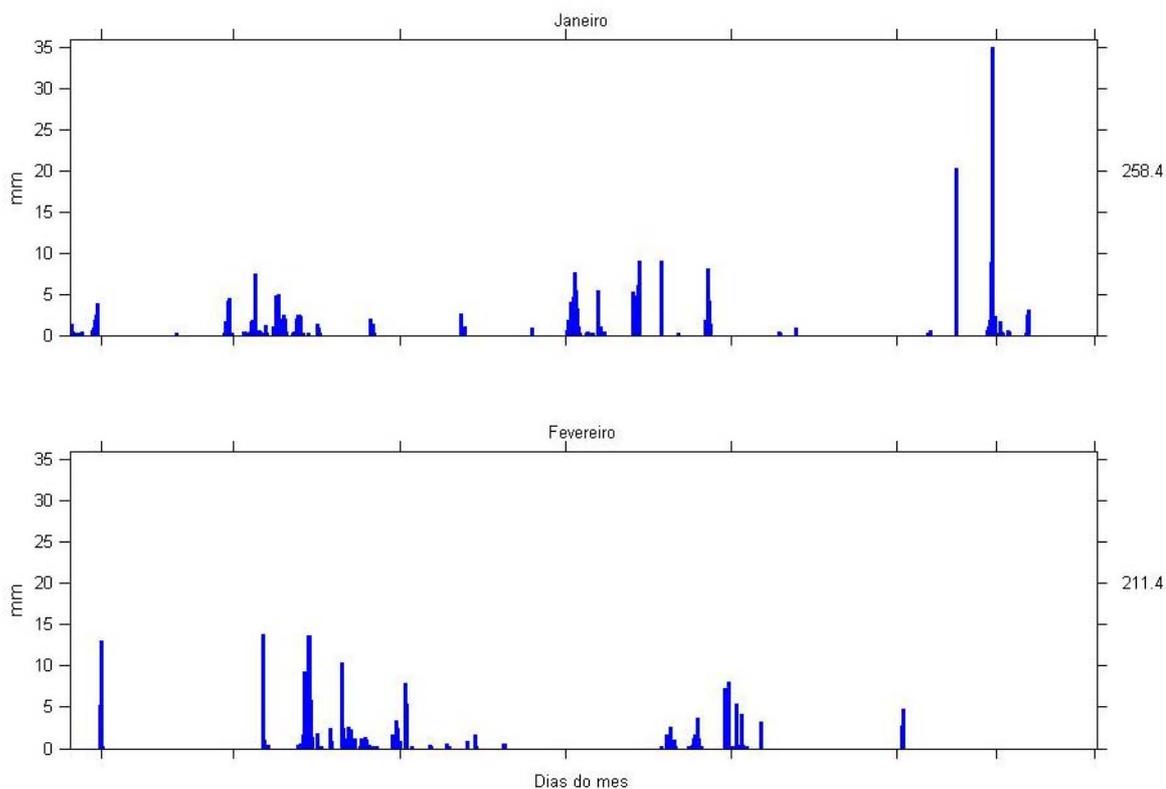


Figura 5.1.94: Registros de Precipitação, para os dois primeiros meses do ano 2007, na estação meteorológica do Grupo de Física Marinha do Centro de Estudos do Mar da UFPR em Pontal do Sul.

[Handwritten signatures and initials, including names like 'H. Yang', 'R.S.', and 'Chapman']

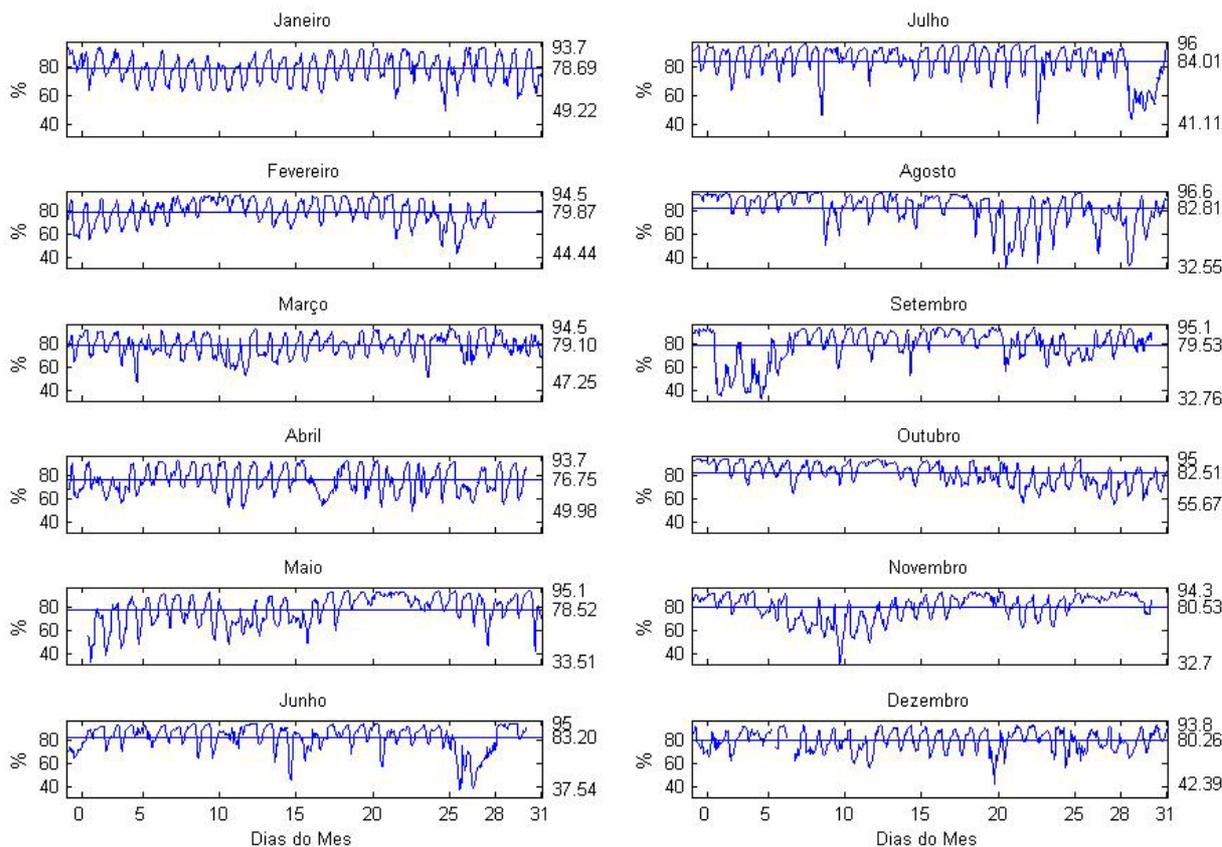


Figura 5.1.95: Registros de Umidade do Ar, mensais do ano 2006, na estação meteorológica do Grupo de Física Marinha do Centro de Estudos do Mar da UFPR em Pontal do Sul.

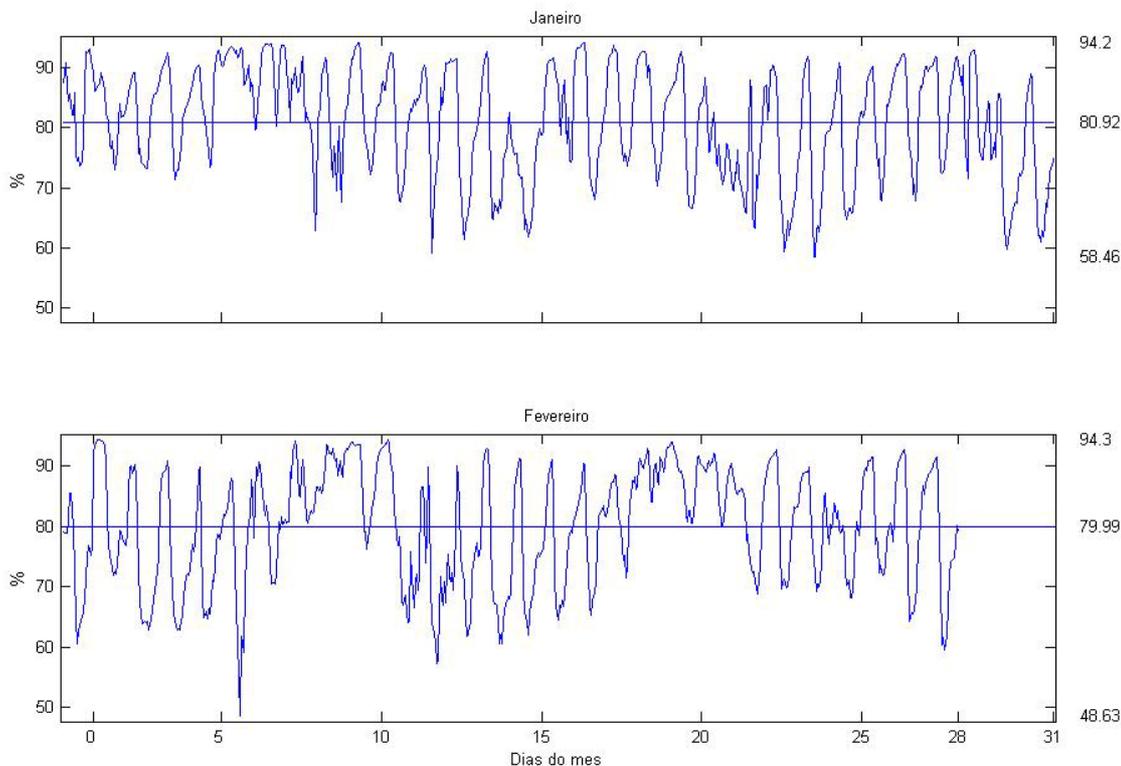
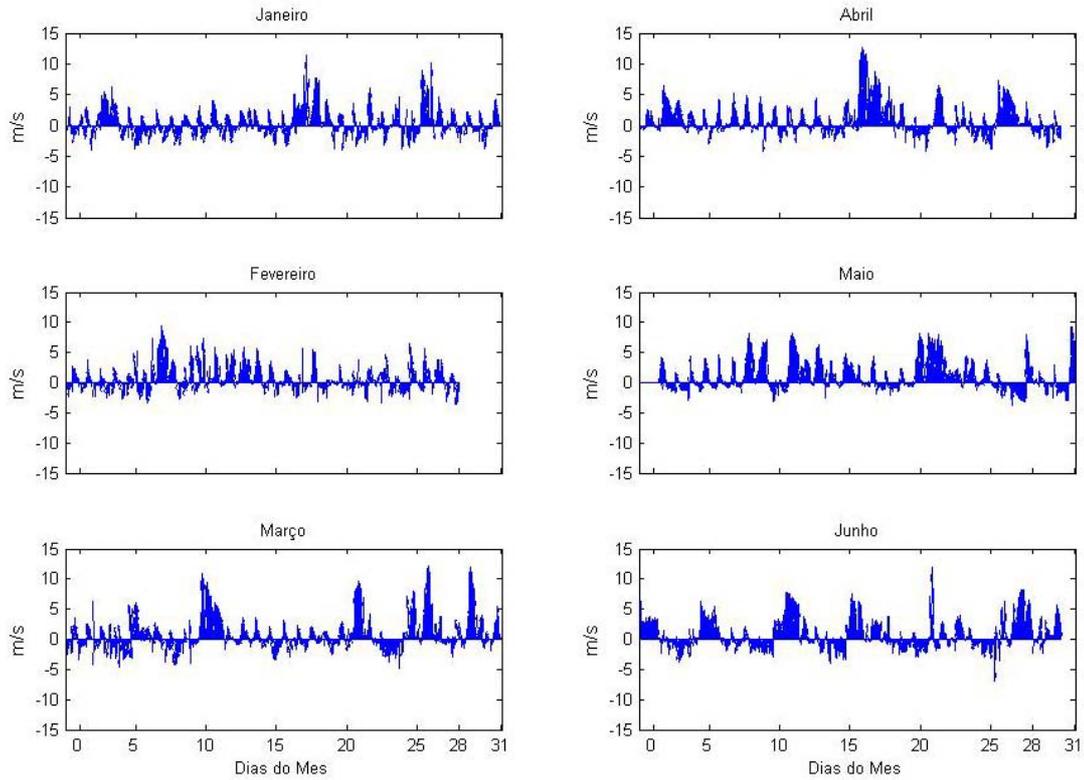
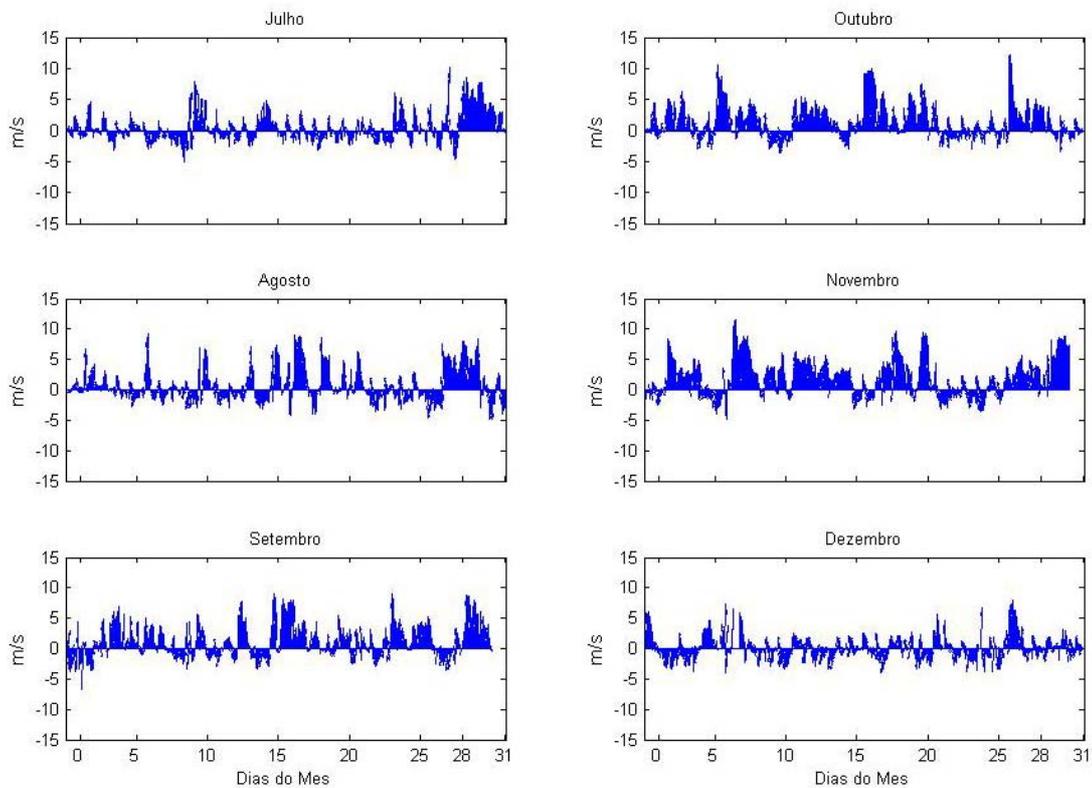


Figura 5.1.96: Registros de Umidade do Ar, para os dois primeiros meses do ano 2007, na estação meteorológica do Grupo de Física Marinha do Centro de Estudos do Mar da UFPR em Pontal do Sul.

[Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like 'H. Yang', 'R.S.', and others.]

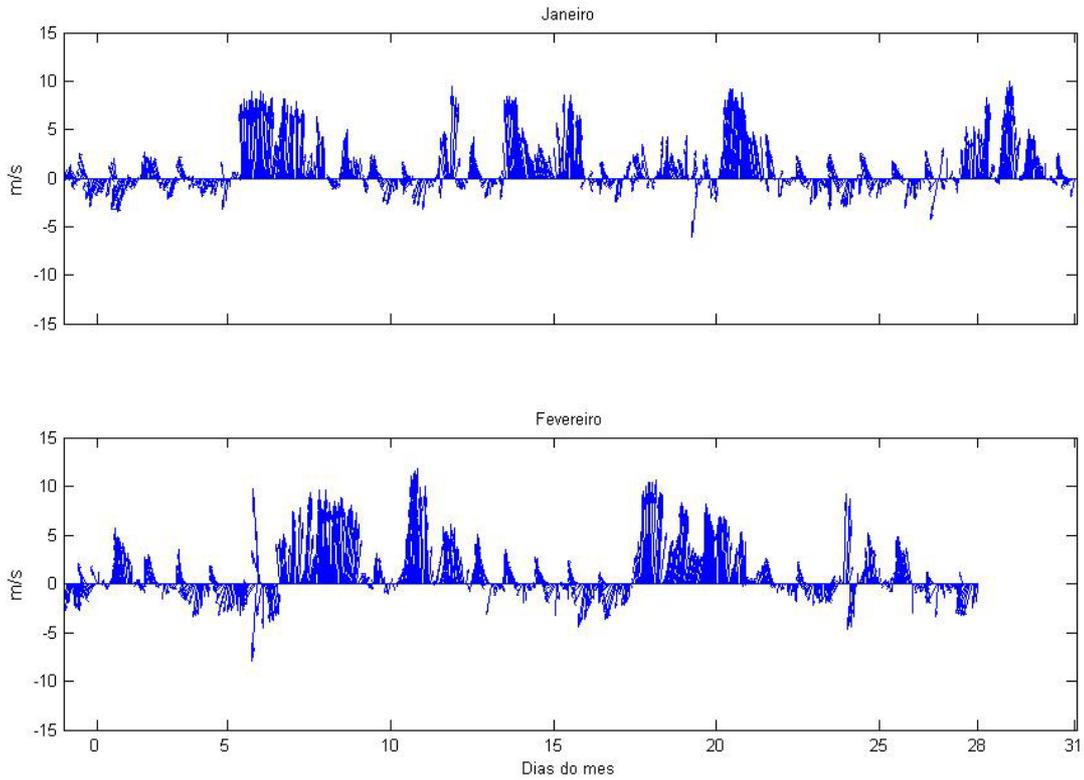


**Figura 5.1.97: Registros de Ventos (representação vetorial), mensais do primeiro semestre do ano 2006, na estação meteorológica do Grupo de Física Marinha do Centro de Estudos do Mar da UFPR em Pontal do Sul.**

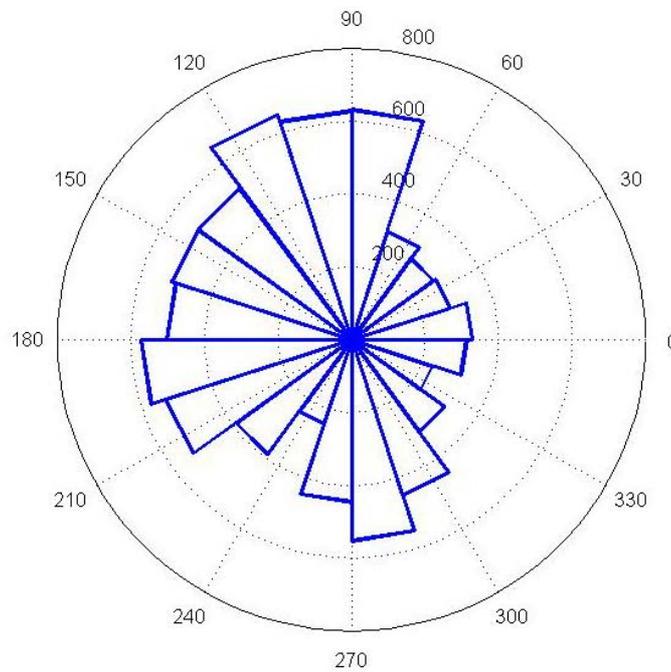


**Figura 5.1.98: Registros de Ventos (representação vetorial), mensais do segundo semestre do ano 2006, na estação meteorológica do Grupo de Física Marinha do Centro de Estudos do Mar da UFPR em Pontal do Sul.**

Handwritten signatures and initials are listed vertically on the right side of the page, including names such as Paulo, J.P., J.G., J.S., H.10, H. Yang, R.S., and others.

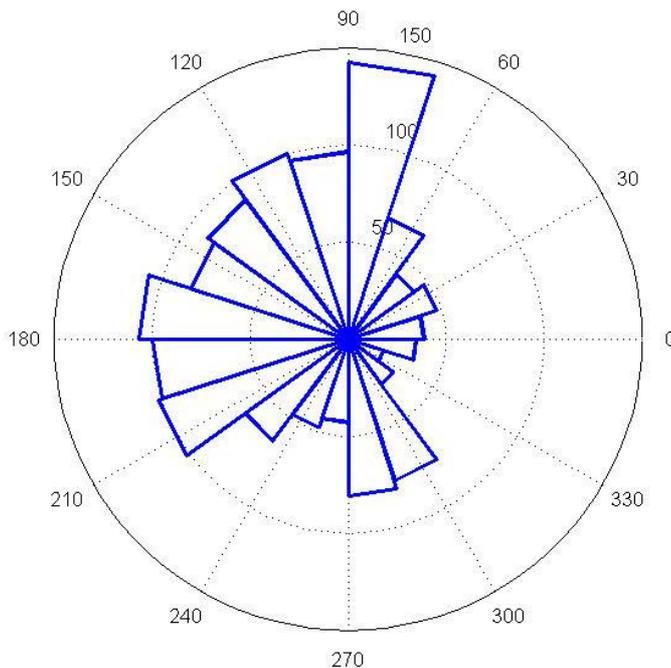


**Figura 5.1.99: Registros de Ventos (representação vetorial), para os dois primeiros meses do ano 2007, na estação meteorológica do Grupo de Física Marinha do Centro de Estudos do Mar da UFPR em Pontal do Sul.**



**Figura 5.1.100: Rosa dos Ventos (representação estatística), mensais do ano 2006, na estação meteorológica do Grupo de Física Marinha do Centro de Estudos do Mar da UFPR em Pontal do Sul.**

A vertical column of approximately 20 handwritten signatures or initials is located on the right side of the page, spanning from the top of the first figure to the bottom of the second figure.



**Figura 5.1.101: Rosa dos Ventos (representação estatística), para os dois primeiros meses do ano 2007, na estação meteorológica do Grupo de Física Marinha do Centro de Estudos do Mar da UFPR em Pontal do Sul.**

Medições do campo de massa (temperatura e salinidade da água) também têm sido coletadas na AID em diferentes oportunidades. Na tabela 5.1.22 podem ser vistos alguns destes registros e suas respectivas coordenadas.

**Tabela 5.1.22: Temperatura e Salinidade da água nas proximidades do empreendimento em Outubro de 2003 (as estações foram posicionadas com GPS em coordenadas UTM - WGS84). Na coluna das Profundidades indica-se a profundidade local máxima.**

Ponto	Coordenada x (UTM)	Coordenada y (UTM)	Prof (m)	Salin. Sup (ups)	Salin. Fun (ups)	Temp. Sup (°C)	Temp. Fun (°C)
1	762877,943	7172414,567	7,6	28,9	29,1	23,2	23,1
2	762692,236	7172338,579	8,1	29,0	29,1	23,2	23,1
3	762508,766	7172271,531	9,0	29,2	29,2	23,1	23,1
4	762636,3	7172191,073	9,9	29,2	29,3	23,1	23,1
5	762824,861	7172261,729	9,6	29,4	29,5	23,1	23,1
6	763030,088	7172340,814	9,0	29,7	29,8	23,0	23,0
7	762985,34	7172186,603	9,5	29,9	30,1	23,0	22,9
8	762786,208	7172112,85	9,3	29,8	30,1	23,0	22,8
9	762589,314	7172030,158	9,5	29,8	30,2	23,0	22,8
10	762734,747	7171936,29	8,9	29,5	30,3	23,1	22,8
11	762936,116	7172016,748	9,2	29,7	30,5	23,0	22,7
12	763121,823	7172101,676	8,9	29,8	30,6	23,0	22,7
13	763092,737	7171920,646	7,0	29,8	30,3	22,7	22,5
14	762893,605	7171846,893	6,6	29,9	30,0	22,7	22,6
15	762689,998	7171748,556	2,7	29,9	29,9	22,7	22,7

Nos dados é possível observar que os maiores valores verticais de salinidade encontram-se na camada de fundo, enquanto que e as maiores salinidades horizontais

Handwritten signatures and initials on the right margin of the page.

aconteceram próximas da costa. Observa-se, na distribuição espacial das temperaturas, que as águas são ligeiramente mais frias na camada de fundo do que na superfície e ligeiramente mais quentes nas proximidades da costa.

Podem ser citados, também, diferentes registros de correntes na AID. Na figura 5.1.102 são mostrados os diagramas polares das correntes nas camadas de fundo (esquerda) e de superfície (direita) num fundeio com correntômetros S4 na margem sul do canal de navegação na frente da Ilha da Cotinga na AID.

Os valores das correntes chegaram a superar, mesmo que em poucas ocasiões, o limiar de 50 cm/s na camada de fundo, com direções tais que se encontravam alinhadas com o canal de navegação no local da amostragem, tanto na enchente quanto na vazante. Na camada de superfície, as correntes se mostraram bem mais fortes, superando freqüentemente os 70 cm/s.

Na camada de fundo pode ser observado que existe uma pequena deflexão no eixo da que deveria ser a elipse das correntes de maré, motivada esta pela curvatura do canal no local. Também, deve-se atentar ao fato das correntes de enchente serem ligeiramente mais intensas que as de vazante. Sendo que as observações foram realizadas próximas do fundo, e que o limiar de ressuspensão de sedimentos típicos da Baía de Paranaguá está ao redor dos 15 a 20 m/s, comprova-se que no local as correntes de maré teriam competência para suspender e transportar sedimentos.

As correntes de superfície apresentam diferenças, se comparadas com as de fundo. A diferença mais marcada está no fato da elipse de correntes de maré não estar muito deformada na superfície, sendo que seu eixo não foi modificado. Isto indica que, dadas as profundidades e a extensão horizontal da área, o traçado do canal não influencia as correntes de superfície, as quais correm paralelas à linha de costa, mais do que ao perfil do canal de navegação.

Finalmente, na figura 5.1.103 pode ser visto um perfil de correntes, obtido da superfície ao fundo e da Ponta do Poço até a Ilha do Mel, na AID, com correntômetro ADP, mostrando correntes máximas acima dos 100 cm/s.

O uso de ADPs na AID mostrou que, em situação de sizígia, a vazão de água do CEP para a zona costeira pelo canal de navegação, ou canal da Galheta, chega a valores próximos aos 20 000 m<sup>3</sup>/s.

É importante destacar a alta complexidade do padrão de circulação dentro da AID, sendo este fato devido principalmente a ser uma “encruzilhada” dos canais L-O (Galheta) e do N-S.

Não existem registros quantitativos da agitação marítima na AID, mas observações visuais mostram que a área pode apresentar um complexo padrão de agitação marítima em pelo menos três situações particulares: apesar de pouco freqüente, algumas ondas de longo período, vindas do oceano, podem se refratar seguindo a linha da costa de Pontal do Sul à Ponta do Poço; em outros casos, os ventos com forte componente na direção a mar aberto, orientados paralelos ao canal L-O, possuem uma pista suficientemente longa (>30 km) para promover ondas de curto período e alturas

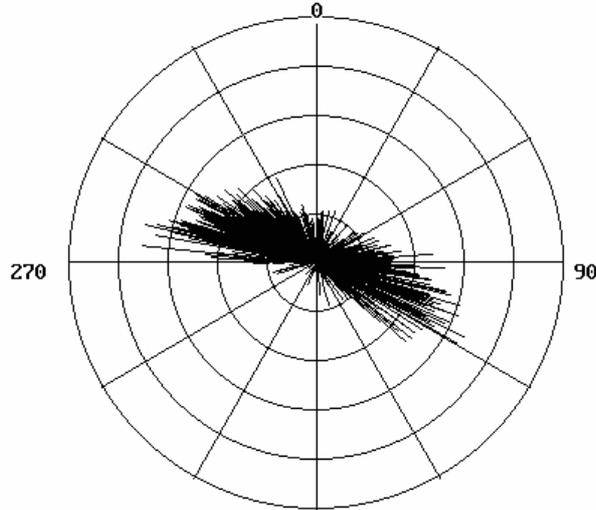


de várias dezenas de centímetros (Figura 5.1.104); o mesmo acontecendo com ventos soprando de Norte a Sul, com a pista de vento da baía das Laranjeiras.



InterOcean Systems, Inc. Model S4 Current Meter #04922222  
 Fund.Cobras Fun File : SUPCOBU.S4B  
 Xoffset: +0.00 cm/s Yoffset: +0.00 cm/s Mag.Var.: -18 deg  
 Samples averaged : 4 Mean Direction : 317.3

P  
o  
l  
a  
r

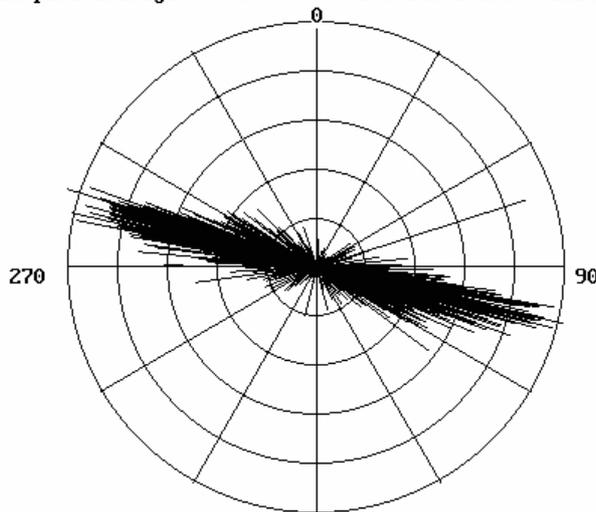


Samples 10 - 3085 16.0 cm/s/div  
 Hardcopy (y/n)?



InterOcean Systems, Inc. Model S4 Current Meter #04922220  
 Fund.Cobras Sup File : FUNCOBU.S4B  
 Xoffset: +0.00 cm/s Yoffset: +0.00 cm/s Mag.Var.: -18 deg  
 Samples averaged : 4 Mean Direction : 285.8

P  
o  
l  
a  
r



Samples 10 - 3085 16.0 cm/s/div  
 Hardcopy (y/n)?

Figura 5.1.102: Diagramas polares das correntes nas camadas de fundo (acima) e de superfície num fundeio com correntômetros S4 na margem sul do canal de navegação na frente da Ilha da Cotonga na AID (a corresponde à camada de superfície e b à de fundo).

[Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like 'H. Yang', 'R.S.', and 'M. Barros']

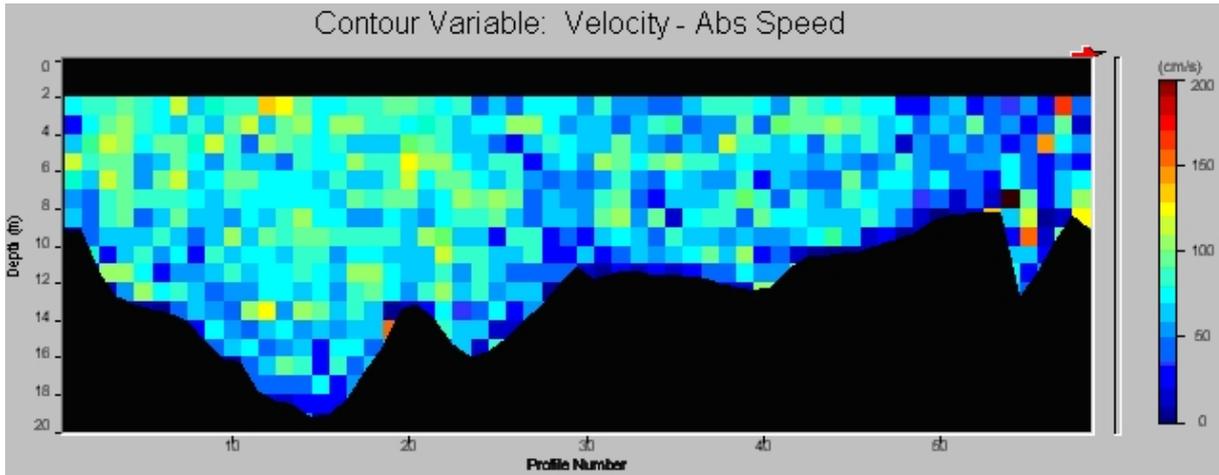


Figura 5.1.103: Perfil de correntes, obtido da superfície ao fundo e da Ponta do Poço até a Ilha do Mel (esq. a dir.), na AID, com correntômetro ADP.



a



b

Figura 5.1.104: Agitação de alta frequência indicando geração próxima pelo vento (a) e ondas de longo período atingindo a AID (b).

### 5.1.7.3. Área diretamente afetada (ADA)

Desde o ponto de vista da oceanografia física, e ainda mais da climatologia, esta escala espacial se confunde com a da AID já caracterizada na seção anterior em muitos aspectos.

Apesar disto, podem ser mencionados outros dados de correntes obtidos pelo GFM/CEM na própria ADA, além dos obtidos pela empresa CHD contratada pelo empreendedor.

Na figura 5.1.105 podemos observar os diagramas polares das correntes no local do empreendimento, obtidas com correntômetros eletromagnéticos S4 de forma quase contínua (dt=15 min) durante mais de meio ciclo das marés (~7 h) há poucos anos pela equipe do GFM/CEM.

[Handwritten signatures and initials on the right margin of the page, including names like 'H. Yang', 'R.S.', and others.]



dados referentes às variações do nível do mar (Figura 5.1.107) foram também compatíveis com registros históricos e das proximidades do local das medições. As correntes são reproduzidas nas figuras 5.1.108 e 5.1.109. As correntes apresentaram uma dispersão direcional menor do que nos fundeios anteriores feitos pela equipe do CEM, ficando claro que as correntes de vazante são superiores às de enchente. A série de dados da CHD, especialmente no ponto MC-3, apresentou alguns valores não explicados (dois picos de mais de 1,50 m/s na superfície), além de valores das correntes de superfície que não superaram os 0,30 m/s, sendo ainda menores nas camadas do meio e do fundo, o que não se mostra coerente com registros históricos. Por estas e outras razões, o empreendedor, a pedido dos consultores, concordou em realizar uma nova coleta, repetindo os fundeios e, simultaneamente, com a realização de radiais perpendiculares à linha de costa com correntômetro acústico Doppler.

Os dados dos fundeios nos pontos P1 e P2 são aqui apresentados em forma gráfica e em forma detalhada no Anexo 2-VIII. Adicionalmente, nas medidas em que são fornecidos automaticamente pelo instrumento, dados de temperatura, salinidade e densidade da água são também fornecidos.

Os dados de correntes no ponto P1 mostraram uma média de 35,79 cm/s, um máximo de 107 cm/s e um mínimo de 1,0 m/s, tendo sido submetidos a controle de qualidade com um aproveitamento de 100%.

Os dados de correntes no ponto P2, pela sua vez, mostraram uma média de 49,42 cm/s, um máximo de 109 cm/s e um mínimo de 4,0 m/s, tendo sido submetidos a controle de qualidade com um aproveitamento de 99,9%.

Com a finalidade de obter dados de correntes para a sua utilização na calibração e validação de modelos numéricos de circulação e transporte de sedimentos na região da Ponta do Poço no Município de Pontal do Paraná, foram realizadas novas coletas de dados de velocidade e direção das correntes marinhas em dois pontos fixos e em quatro seções (Figura 5.1.110):

**Fundeios a 1,5 m de profundidade durante 25 h em 13-06-07**

P1 - PTAPCO

MC3A – deslocado 100 m para a esquerda da antiga estação

N: 7.172.024,2942 m Lat.: 25°32,7287' S

E: 764.721,7140 m Long.: 48°21.9289' W

P2 - TECHINT

MC4 – próximo ao terminal da Techint e na área que será aterrada

N: 7.171.629,0125 m Lat.: 25°32.9414' S

E: 764.839,5899 m Long.: 48°21.8539' W

**Transectos ADP em 13 e 20-06-07**

1) Do ponto 178 ao 179:

178: 25° 32' 41.2" S – 48° 22' 30.8" W

179: 25° 32' 01.4" S – 48° 22' 41.9" W

2) Do ponto 180 ao 181:

*[Handwritten signatures and initials on the right margin]*



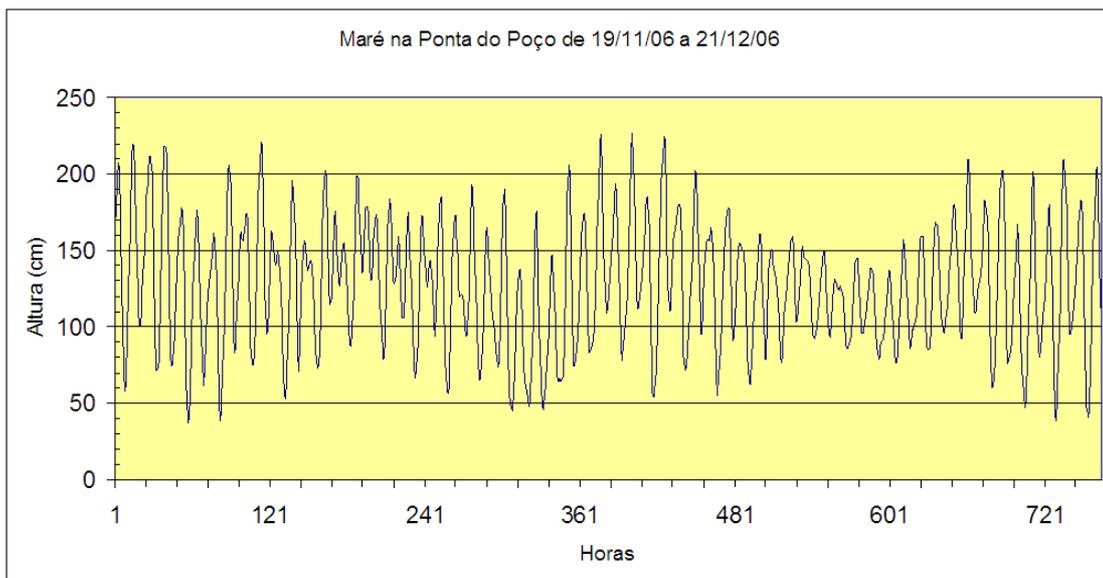


Figura 5.1.107: Diagramas dos locais de medição de correntes na Área Diretamente Afetada (CHD 2006).

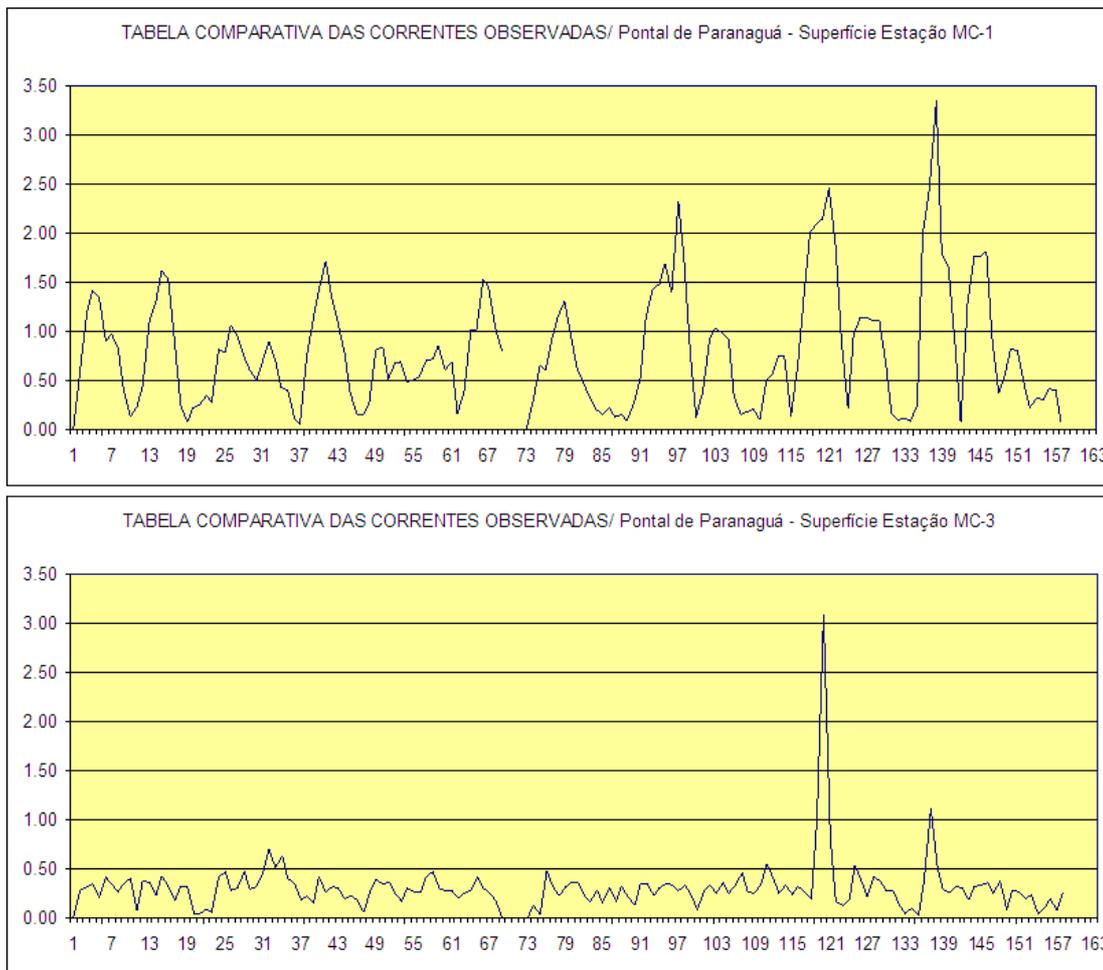


Figura 5.1.108: Dados de correntes na Área Diretamente Afetada no ponto MC-1 (CHD 2006).

*[Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like 'H. J. ...', 'R. S.', 'M. ...', 'J. ...', 'A. ...', 'M. ...', 'J. ...', 'M. ...', 'M. ...']*

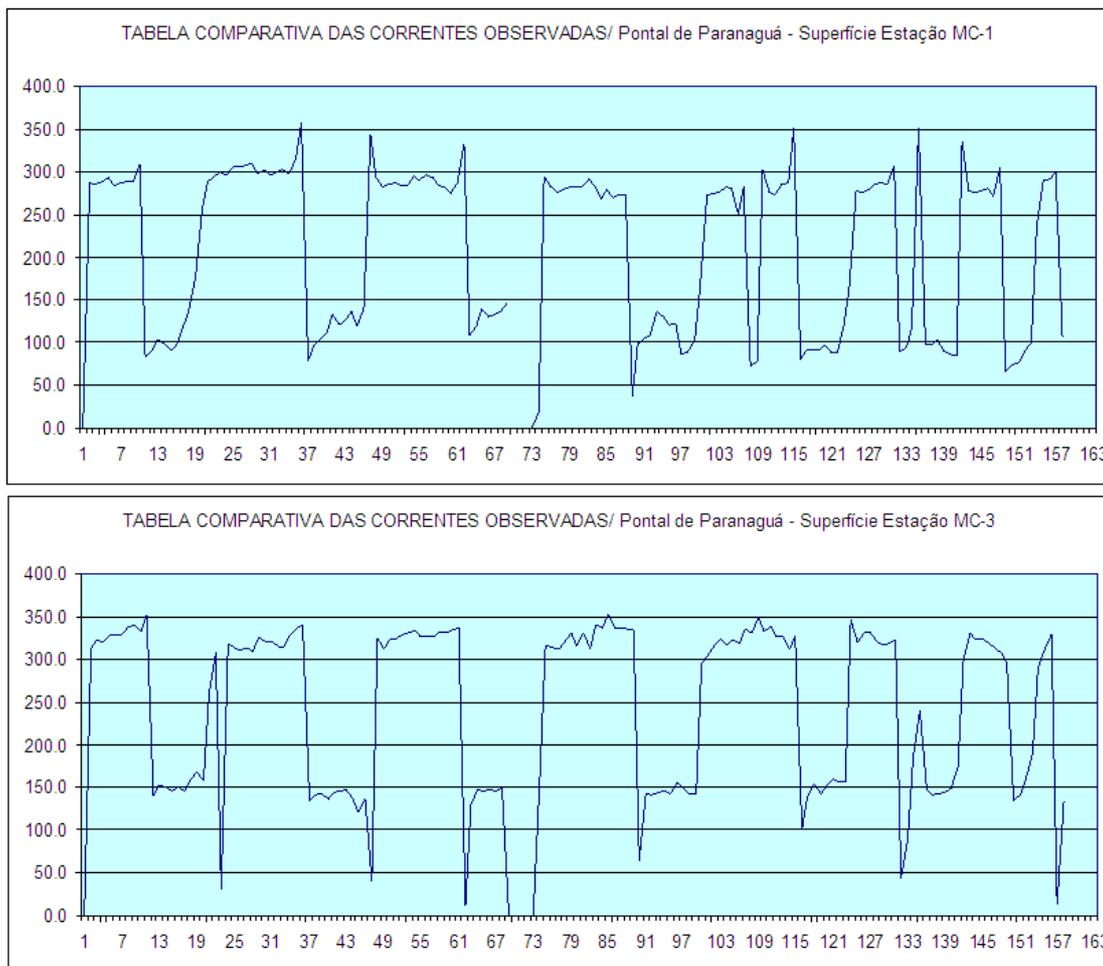


Figura 5.1.109: Dados de correntes na Área Diretamente Afetada no ponto MC-3 (CHD 2006).

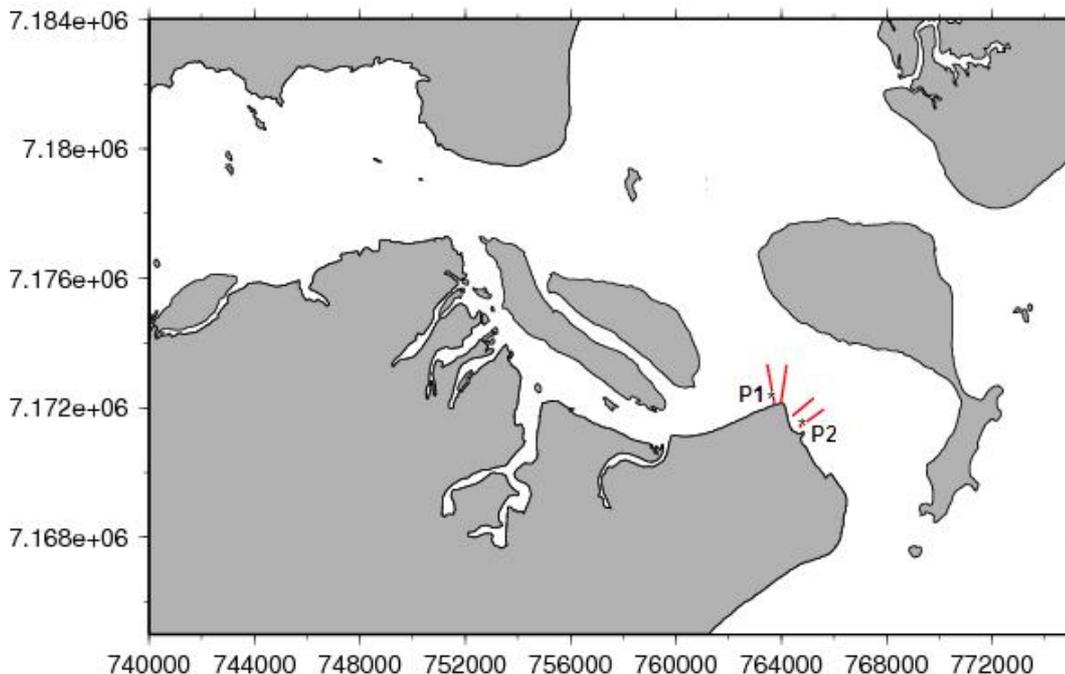


Figura 5.1.110: Mapa da área de estudos e dos pontos de medição (coordenadas UTM datum WGS84). As linhas vermelhas indicam os transectos de ADP, sendo os pontos dos fundeios P1 e P2 indicados com \* e identificados (cortesia J.E.Gonçalves).

[Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like 'H. Yang', 'R.S.', and 'J.E. Gonçalves']







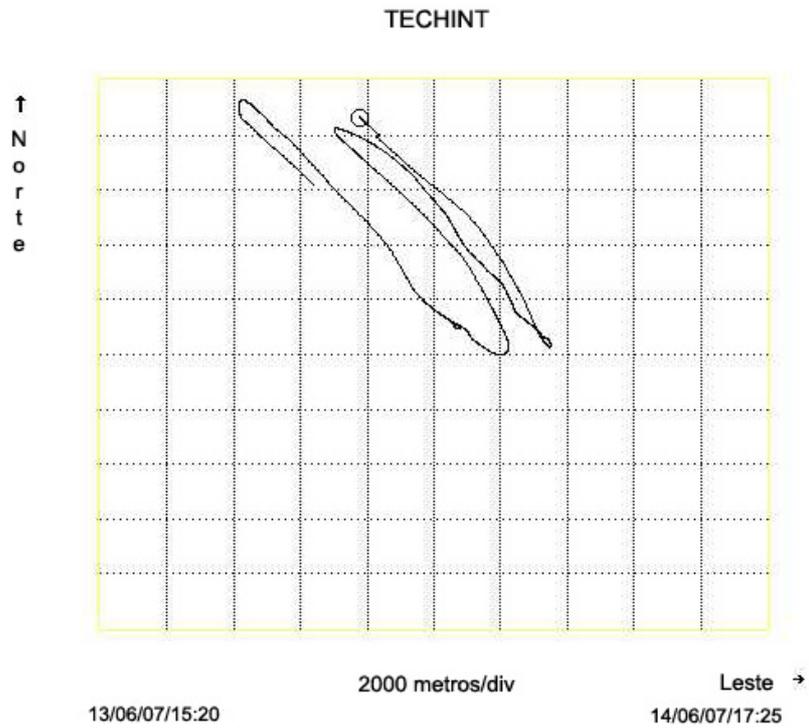


Figura 5.1.115: Diagrama de vetores progressivos para o ponto P2

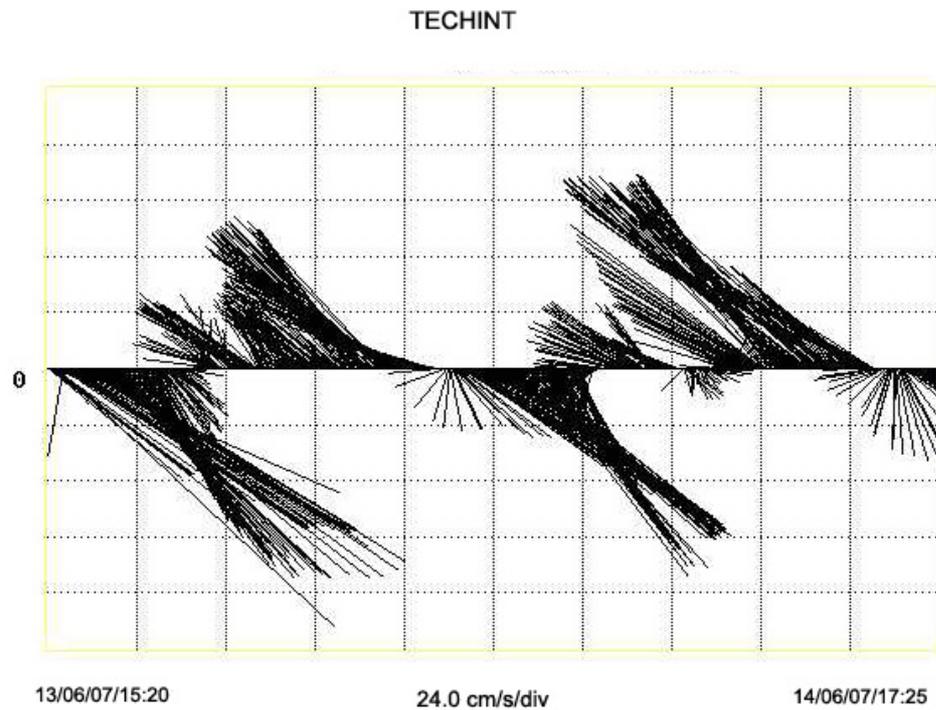


Figura 5.1.116: Série temporal dos vetores das correntes para o ponto P2

*[Handwritten signatures and initials on the right margin]*

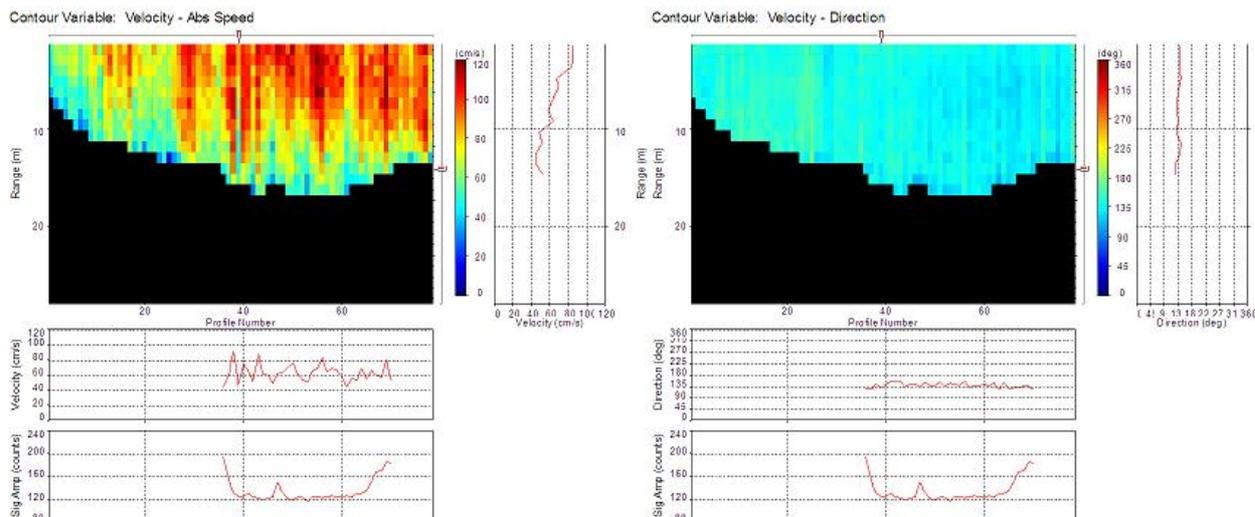


Figura 5.1.117: Gráficos das correntes obtidas com ADP em 13-07-07 em situação de sizígia para o transecto em P2 no instante das máximas intensidades.

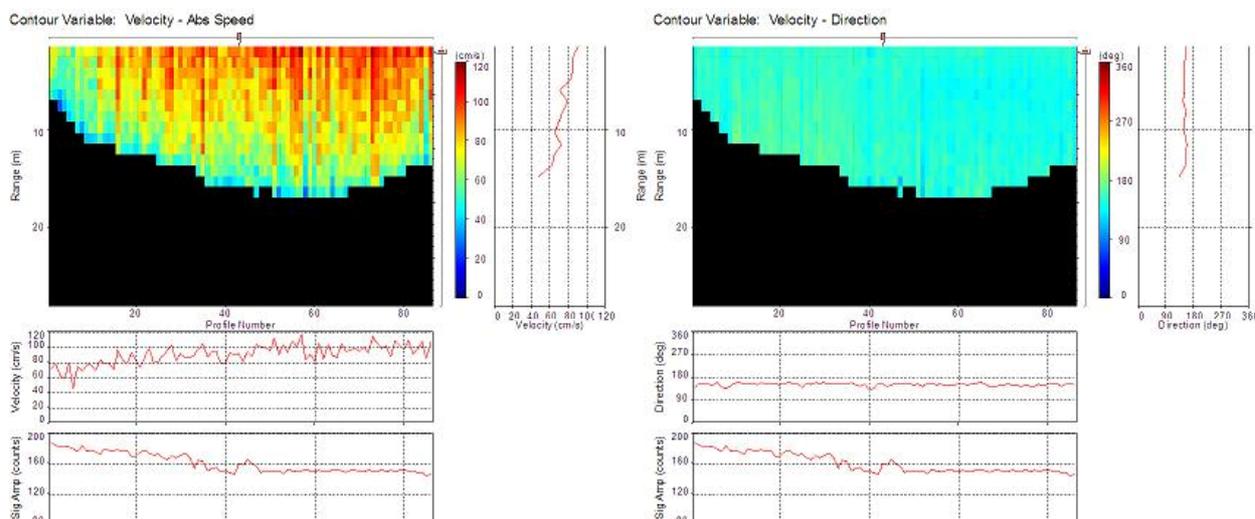


Figura 5.1.118: Gráficos das correntes obtidas com ADP em 20-07-07 em situação de quadratura para o transecto em P2 no instante das máximas intensidades.

### 5.1.8. Assoreamento, necessidade de dragagem de aprofundamento e previsão de dragagens de manutenção

Como foi explicitado no item 2.1.4.2.3.1 da caracterização do empreendimento, para a implantação do TCPP será necessária à realização de dragagem de aprofundamento dos berços de atracação de aproximadamente 1 472 592 m<sup>3</sup>. Deste modo, conforme determinação da resolução Conama 344/04 os sedimentos a serem dragados foram caracterizados geoquimicamente. Foi analisada a distribuição de contaminantes orgânicos persistentes nos sedimentos tais como hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, pesticidas organoclorados e PCBs; os elementos traço de metais pesados e Arsênio, e carbono orgânico, nitrogênio e fósforo totais, conforme detalhado a seguir.

5.1.8.1. Caracterização geoquímica dos sedimentos na área afetada pelas dragagens

5.1.8.1.1. Distribuição dos contaminantes orgânicos persistentes nos sedimentos superficiais

5.1.8.1.1.1. Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs)

Os resultados dos 13 HPAs analisados nas amostras de sedimento de superfície estão expressos em  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (peso seco de sedimento) na tabela 5.1.23.

Os resultados demonstraram que não houve HPAs presentes em concentrações acima dos valores estabelecidos na legislação Conama 344/2004 para os Níveis 1 e 2 de águas salina-salobras, sendo que para a maioria dos pontos analisados, os compostos estiveram abaixo do limite de detecção do método.

As concentrações individuais de determinados HPAs como fluoranteno, pireno (P.M=202) e benzo(a)antraceno, criseno (P.M=228) têm sido utilizadas na forma de razões entre os compostos de mesmo peso molecular e gráficos entre diferentes razões com o objetivo de identificar as possíveis fontes destes HPAs (petrogênica, combustão de petróleo, combustão de biomassa ou a mistura de ambas as fontes) nos sedimentos marinhos (Yunker *et al.* 2002).

De acordo com a avaliação feita através destes índices nos pontos onde foram detectados estes compostos (P06, P09 e P24) é possível dizer que os HPAs presentes nos sedimentos estudados são provenientes majoritariamente de processos de combustão de combustíveis fósseis e biomassa vegetal.

Os resultados são consistentes, uma vez que os limites de detecção do método estão próximos daqueles apresentados em diversos trabalhos desta natureza, as recuperações dos padrões estiveram entre 80 e 110% e a análise dos brancos não apresentou nenhum dos HPAs estudados.

**Distribuição do somatório dos HPAs nos sedimentos superficiais estudados**

A figura 5.1.119 abaixo apresenta o somatório dos HPAs nos sedimentos superficiais.

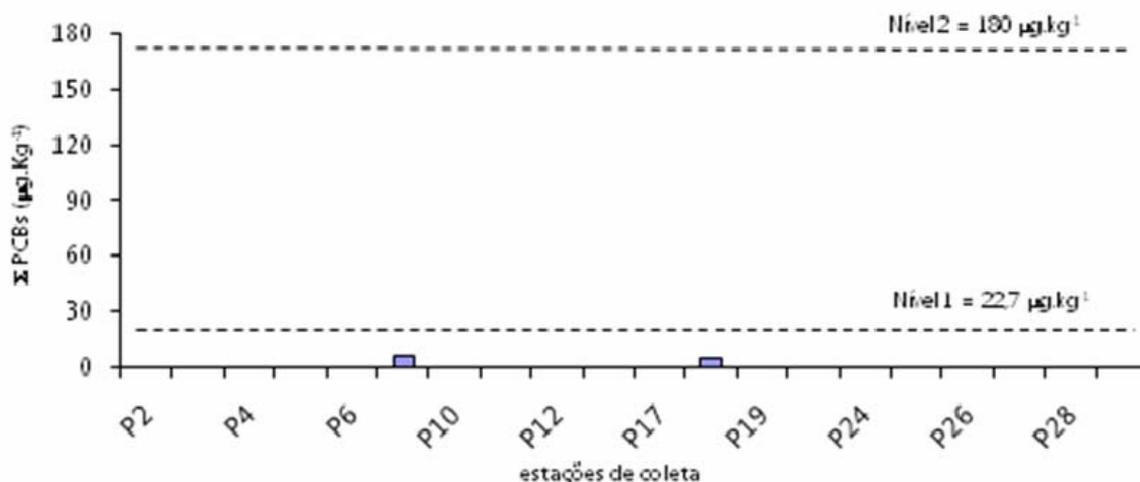


Figura 5.1.119: Distribuição do somatório dos HPAs nos sedimentos superficiais As linhas pontilhadas indicam os limites estabelecidos pela Resolução Conama 344/04 e propostos por Notar *et al.* (2001).



Em nenhum dos pontos estudados, a concentração de HPAs totais violou o nível 1 da Resolução Conama 344/04.

Notar *et al.* (2001) ao analisarem sedimentos de regiões costeiras do Golfo de Trieste (Mar Adriático), caracterizada por ser uma área portuária de intensa atividade industrial, estipularam que um sedimento pode ser considerado contaminado quando a  $\Sigma$  HPAs atinge valores superiores a  $500,0 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , enquanto um sedimento moderadamente poluído apresenta concentrações entre  $250,0$  e  $500,0 \mu\text{g.kg}^{-1}$ . Foi possível notar que os valores encontrados neste trabalho foram inferiores a estes limites.

#### 5.1.8.1.1.2. Pesticidas organoclorados e PCBs

Os resultados dos 11 pesticidas organoclorados e o somatório de PCBs (44 congêneros) analisados nas amostras de sedimento de superfície estão expressos em  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (peso seco de sedimento) na tabela 5.1.24.

Os resultados mostraram que a maioria das amostras de sedimento não apresentou níveis detectáveis dos pesticidas organoclorados e PCBs analisados.

O ponto P09 apresentou níveis detectáveis de 6 pesticidas organoclorados entre os 11 compostos que foram analisados. Entretanto, as concentrações estiveram abaixo do valor limite para o nível 1 da resolução Conama 344/04. Vale ressaltar que no ponto P09, foram verificadas as mais altas concentrações do somatório dos HPAs, embora os níveis tenham sido muito inferiores àqueles estabelecidos pela legislação vigente.

Os resultados são consistentes uma vez que os limites de detecção do método estão próximos daqueles apresentados em diversos trabalhos desta natureza. As recuperações dos padrões estiveram entre 60 e 115% e a análise dos brancos não apresentou nenhum dos compostos organoclorados estudados.

#### Distribuição do somatório dos PCBs nos sedimentos superficiais estudados

A distribuição espacial do somatório das concentrações de PCBs (Figura 5.1.120) evidencia que as concentrações encontradas não violaram o nível 1 da Resolução Conama 344/04 em nenhuma das estações estudadas.

Assim como verificado para os pesticidas organoclorados e os HPAs, a estação P09 foi aquela que apresentou o maior valor de  $\Sigma$  PCBs entre as estações onde estes compostos foram detectados.

Estas concentrações foram muito inferiores àquelas determinadas por estudos no estuário de Santos e São Vicente, caracterizado como área altamente urbanizada e industrializada, onde as concentrações de PCBs totais atingiram  $245 \mu\text{g.kg}^{-1}$  (Bícego *et al.* 2006).



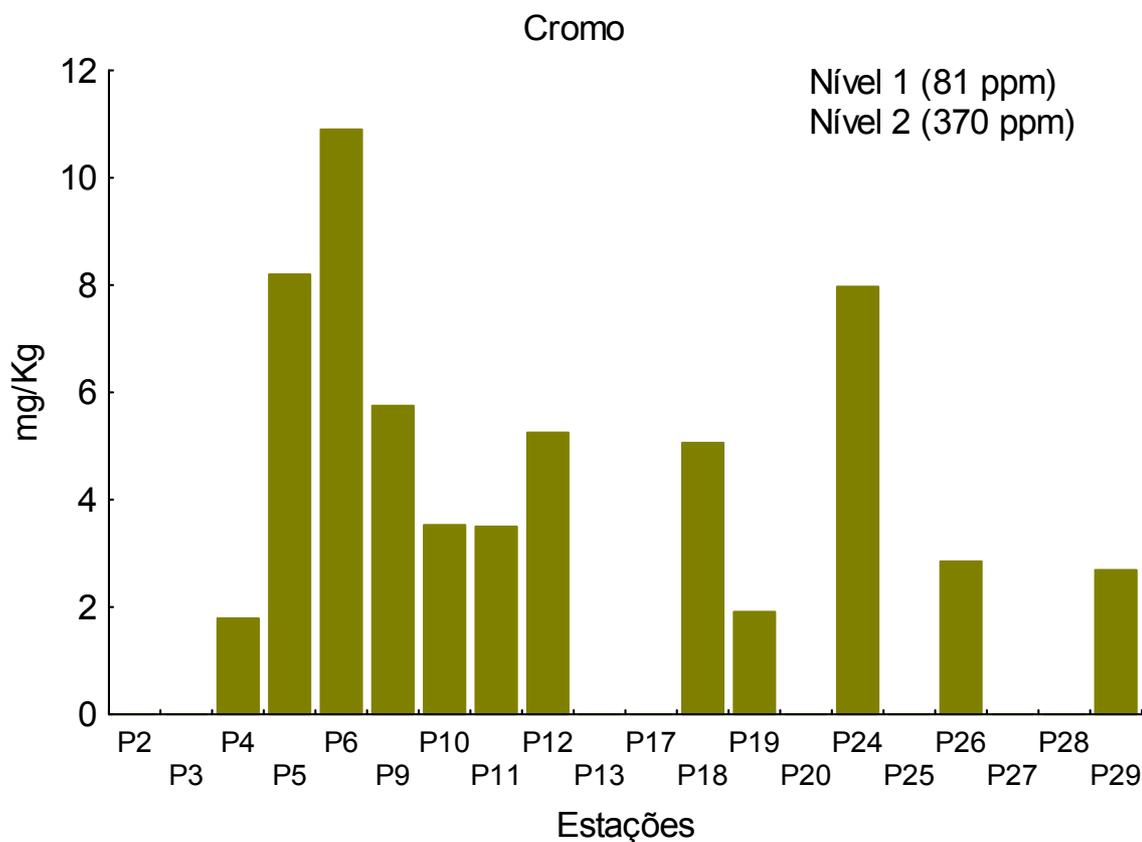




**Tabela 5.1.25: Distribuição das concentrações dos elementos traço (mg.kg<sup>-1</sup>) investigados na área de influência da dragagem do TCPP. (Exceto cádmio e mercúrio que estiveram abaixo do limite de detecção).**

Estações	Arsênio	Chumbo	Cobre	Cromo	Níquel	Zinco
LDM	1,50	0,50	1,50	1,50	0,50	2,50
P2	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM
P3	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM
P4	< LDM	< LDM	< LDM	1,79	< LDM	< LDM
P5	2,23	2,53	< LDM	8,20	0,80	8,60
P6	4,07	4,24	2,97	10,9	1,78	15,6
P9	2,69	1,94	< LDM	5,75	< LDM	8,06
P10	< LDM	1,22	< LDM	3,53	< LDM	< LDM
P11	< LDM	0,88	< LDM	3,5	< LDM	< LDM
P12	< LDM	1,88	< LDM	5,25	< LDM	< LDM
P13	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM
P17	< LDM	1,05	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM
P18	< LDM	1,5	< LDM	5,06	< LDM	< LDM
P19	< LDM	< LDM	< LDM	1,91	< LDM	< LDM
P20	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM
P24	2,54	2,46	< LDM	7,97	< LDM	8,41
P25	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM
P26	< LDM	0,70	< LDM	2,85	< LDM	< LDM
P27	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM
P28	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM
P29	< LDM	0,66	< LDM	2,69	< LDM	< LDM

< LDM – abaixo do limite de detecção do método.



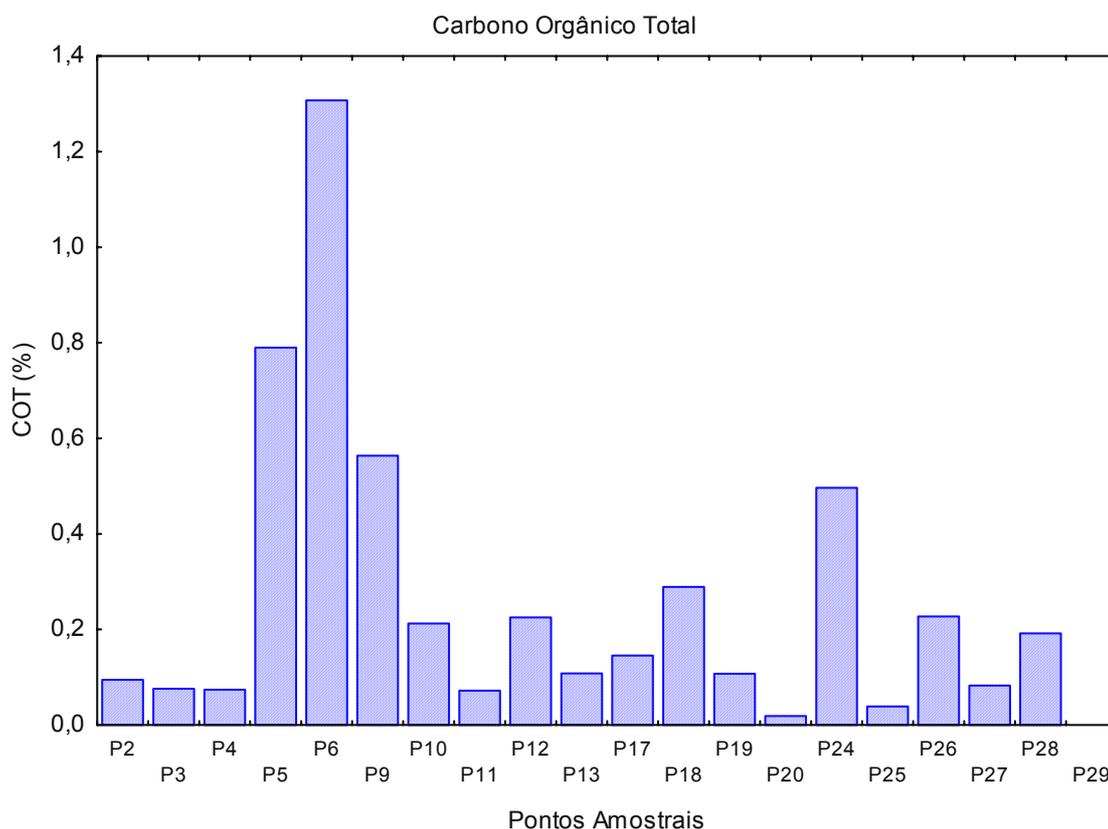
**Figura 5.1.121: Distribuição das concentrações de cromo nos sedimentos superficiais na área de influência direta**

**5.1.8.1.3. Carbono orgânico, Nitrogênio e Fósforo totais**

A distribuição dos teores de Carbono orgânico total, COT (%), nos sedimentos superficiais na área diretamente afetada (ADA) é apresentada na figura 5.1.122.

Como pode ser verificado, as concentrações mais elevadas de COT estão associados aos sedimentos de granulometria mais fina e também aos níveis mais elevados de elementos traço (Figuras 5.1.121 e 5.1.123 a 5.1.127). Os teores de COT registrados não violaram o valor alerta preconizado pela Resolução Conama 344/04 e estão na faixa de valores reportados para muitos sedimentos marinhos costeiros (Knoppers *et al.* 1999) e bem abaixo de áreas eutrofizadas tais como a baía de Chesapeake nos Estados Unidos (Zimmerman & Canuel 2000).

As concentrações de Fósforo total (P-total) e Nitrogênio total (N-total) também não ultrapassaram os valores alerta preconizados na legislação (Figuras 5.1.128 e 5.1.129) e estiveram dentro da faixa de valores reportada recentemente para os sedimentos superficiais da baía de Guaratuba (Cotovicz Jr. 2006) e da Enseada do Benito, situada no eixo norte-sul do CEP (Cazati 2006).



**Figura 5.1.122: Distribuição do Carbono Orgânico Total (COT) nos sedimentos superficiais da área que será afetada por operações de dragagem do TCPP.**

Handwritten signatures and initials on the right margin of the page.



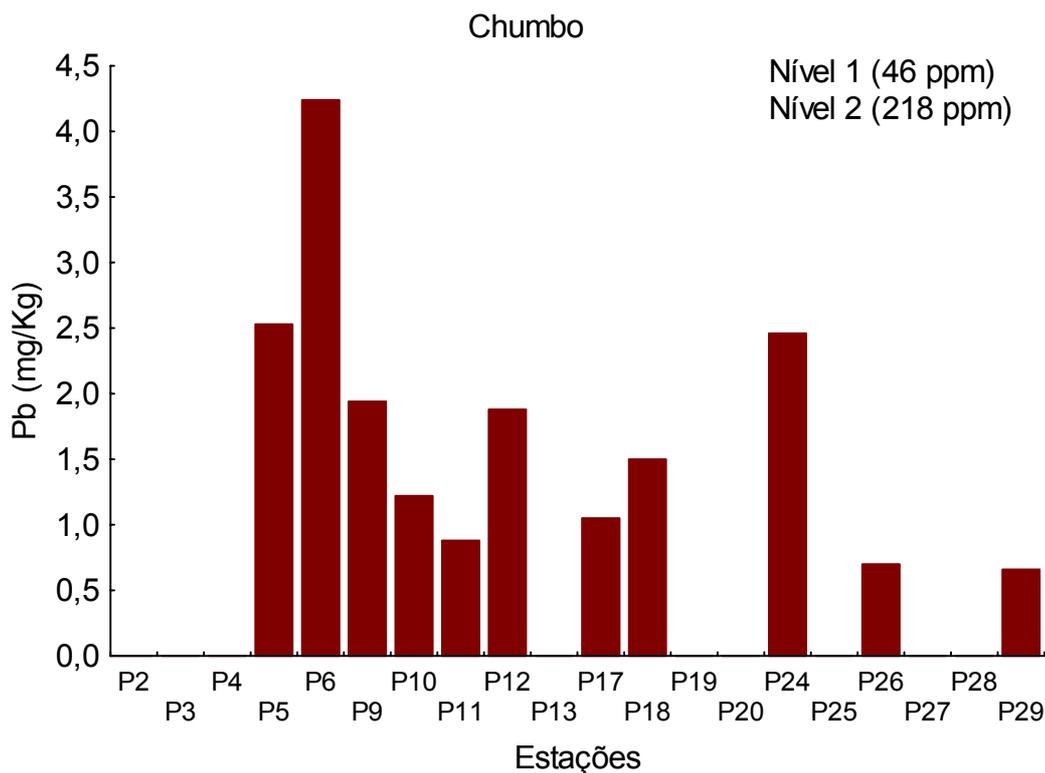


Figura 5.1.125: Distribuição das concentrações de chumbo nos sedimentos superficiais na área de influência direta.

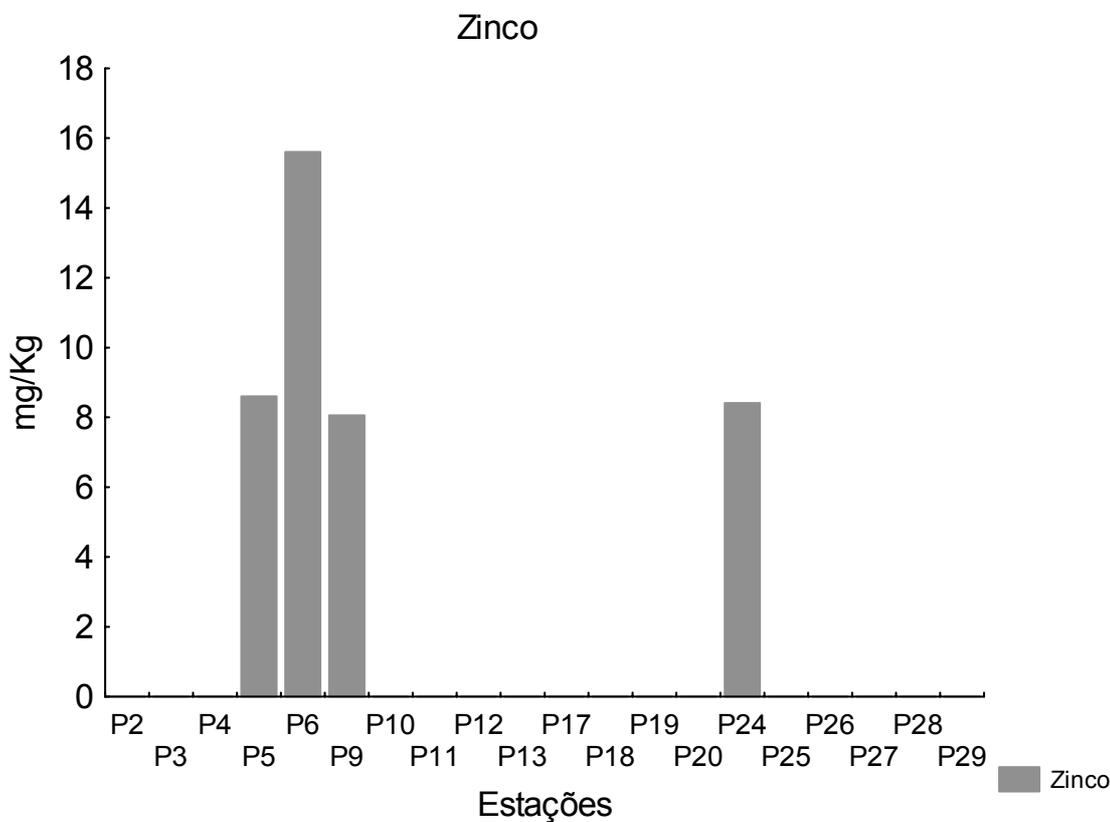
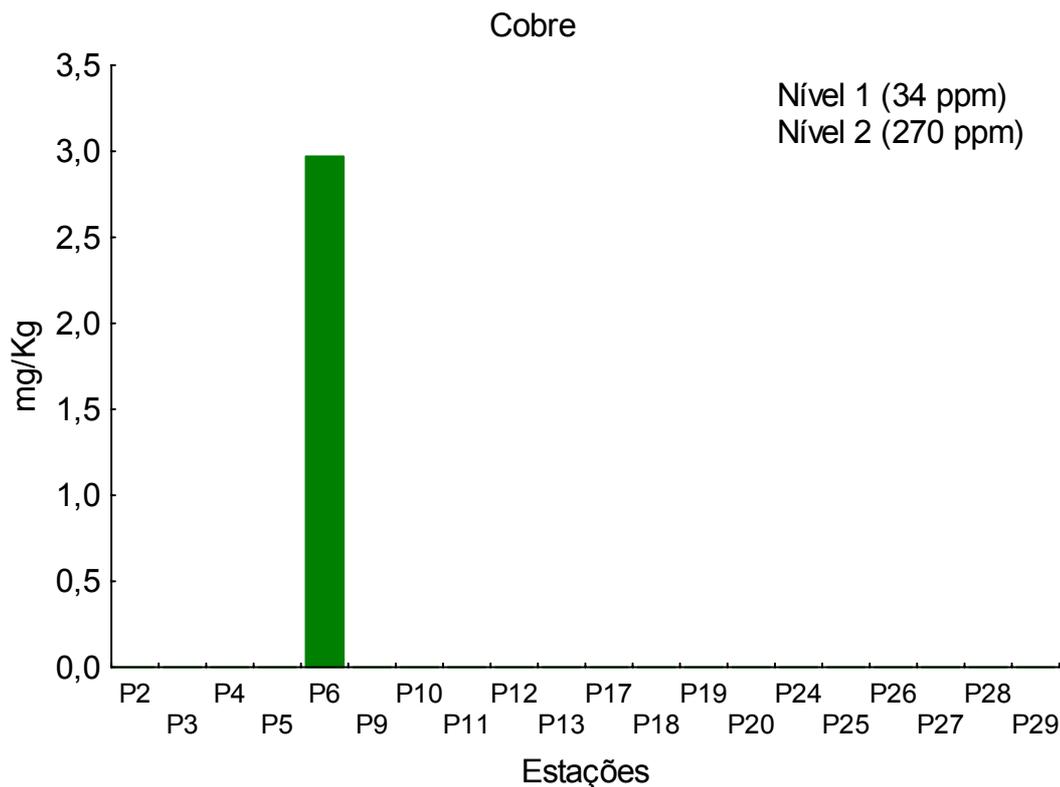
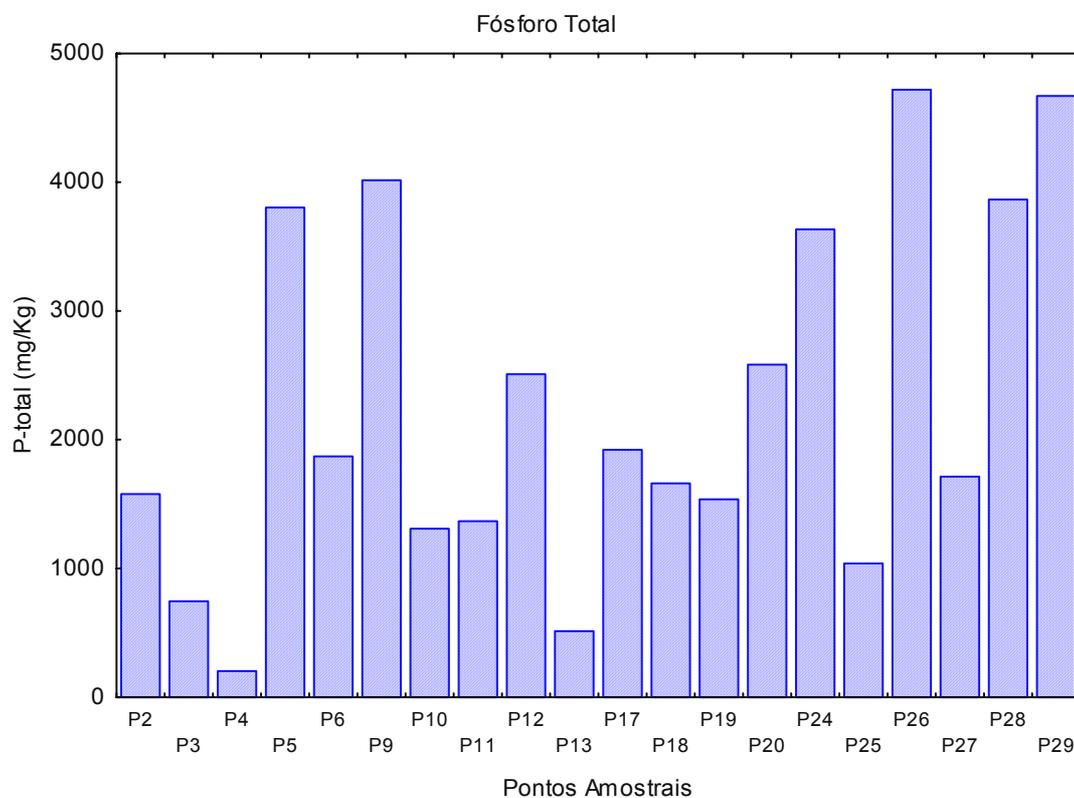


Figura 5.1.126: Distribuição das concentrações de zinco nos sedimentos superficiais na área de influência direta.

Handwritten signatures and initials on the right margin of the page.



**Figura 5.1.127: Distribuição das concentrações de cobre nos sedimentos superficiais na área de influência direta.**



**Figura 5.1.128: Distribuição do Fósforo Total (P-total) nos sedimentos superficiais da área que será afetada por operações de dragagem do TCPP.**

[Handwritten signatures and initials on the right margin of the page]

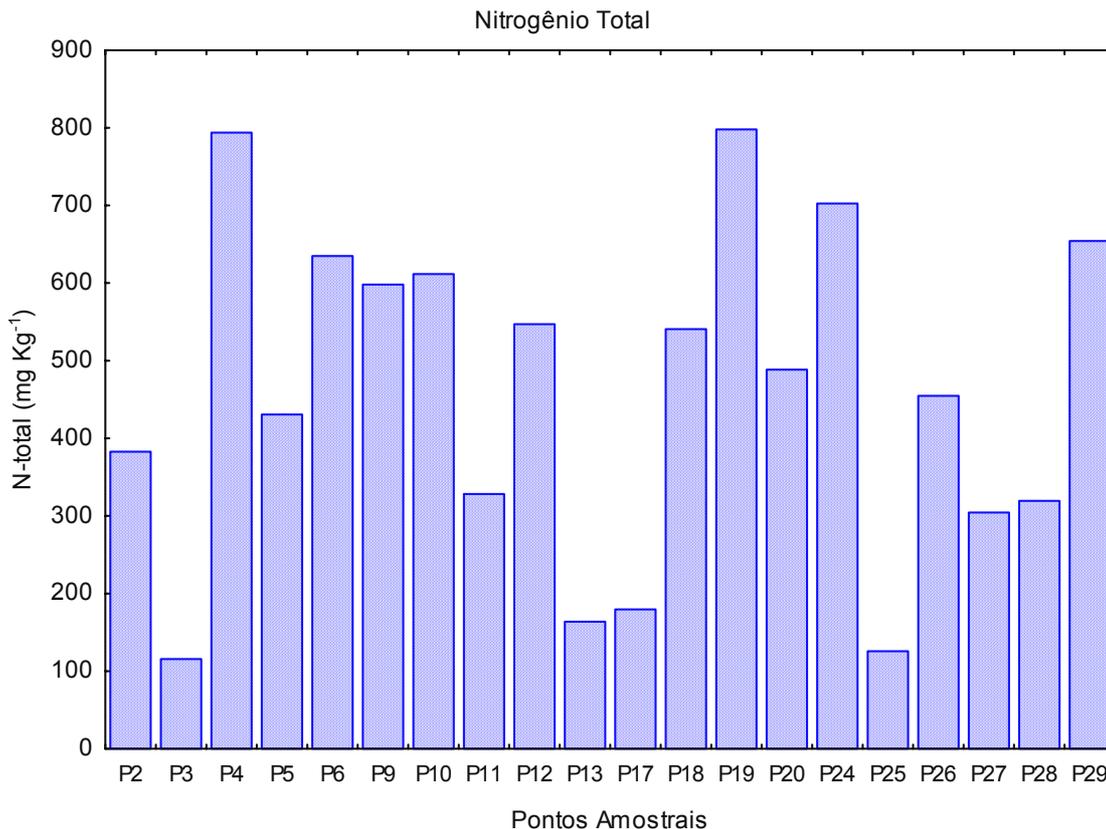


Figura 5.1.129: Distribuição do Nitrogênio Total (N-total) nos sedimentos superficiais da área que será afetada por operações de dragagem do TCPP.

#### 5.1.8.1.4. Caracterização do estrato sedimentar

Por se tratar de uma área com granulometria sedimentar caracterizada como areia em quase toda sua abrangência torna-se difícil a realização de tomada de testemunhos para a caracterização geoquímica, conforme solicitado no TR. Primeiramente, seria necessária a utilização de *gravity core* ou mergulho autônomo para retirar estes testemunhos. Com a experiência prévia em tais tipos de coletas, sabemos que poderíamos recuperar no máximo um metro de profundidade destes testemunhos. A utilização de *vibro core* não é recomendada para análises químicas, pois a vibração perturba as camadas sedimentares superficiais, dificultando a posterior avaliação dos resultados.

Além disso, a caracterização dos sedimentos no canal de acesso aos portos de Paranaguá e Antonina (CAD/ADEMADAN/TPPF/APPA 2006) que incluiu dados de testemunhos evidenciou a contribuição exclusiva do setor portuário e efluentes domésticos e industriais das cidades de Paranaguá e Antonina, em relação à Enseada do Benito, considerada como área não antropizada. No estudo realizado em 2006, apenas os elementos Arsênio e Níquel apresentaram concentrações superiores ao nível 1 da resolução Conama 344/04 entre os contaminantes inorgânicos.

Assim, com base na distribuição dos contaminantes nos sedimentos superficiais, previstos na Resolução Conama 344/04, na área diretamente afetada pelo TCPP e nos

dados pretéritos dos testemunhos (CAD/ADEMADAN/TPPF/APPA 2006), pode-se inferir, com bastante segurança, que a probabilidade de que as concentrações dos contaminantes de interesse aumentem com a profundidade na camada sedimentar é muito baixa.

### 5.1.9. Modelagem

A implementação de um modelo numérico para simular a hidrodinâmica e o transporte de sedimento em uma determinada área de interesse, exige o conhecimento detalhado da região, muitas vezes em uma escala espacial e temporal muito superior a área específica que se deseja entender. Nesse sentido, uma descrição abrangente das principais forçantes que regem a circulação no interior da Baía de Paranaguá será apresentada na descrição da área de estudo.

#### 5.1.9.1. Área de estudo

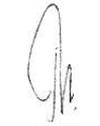
##### 5.1.9.1.1. Descrição global

Nessa seção é apresentada uma descrição das características de todo o complexo estuarino da Baía de Paranaguá. Os pontos focados: clima, hidrografia, regime de maré, e características dos campos de temperatura e salinidade, se referem às principais forçantes que controlam os processos hidrodinâmicos no interior da baía.

Segundo Camargo (1998) a superfície líquida do eixo Leste-Oeste do complexo estuarino é de 443 km<sup>2</sup> e a área de drenagem continental é da ordem de 3 000 km<sup>2</sup>. O estuário é do tipo parcialmente misturado e lateralmente homogêneo. Foram observados extremos de temperatura da água na superfície entre 23°C e 30°C no verão e entre 18°C e 25°C no inverno. Para a salinidade foram observados valores extremos entre 12 e 29 para o verão e entre 20 e 34 no inverno. A profundidade média para toda a área da baía é de três metros, com a existência do canal da Galheta, mantido por dragagens periódicas, a uma profundidade de 15 m. A ocorrência de baixos caracteriza um aporte de sedimento considerável ou simplesmente a sua ressuspensão e transporte. Na desembocadura observa-se uma amplitude de maré da ordem de 1,7 m e na região de Antonina, esse valor salta para 2,7 m, resultando em uma oscilação média da maré da ordem de 2,2 m. Efeitos não lineares que ocorrem no interior da baía revelam a importância das componentes astronômicas de pequeno fundo na banda quarto-diurno, as quais chegam a ultrapassar as componentes diurnas, afetando significativamente os campos de elevação e correntes.

##### 5.1.9.1.1.1. Processos Hidrodinâmicos

A hidrodinâmica do CEP é regida por duas principais forçantes: descargas fluviais e marés. A maré na Baía de Paranaguá é predominantemente semidiurna com desigualdades diurnas, apresentando forte assimetria nas elevações e correntes de maré. As componentes mais importantes da maré astronômica são as componentes semidiurnas M2 e S2, representando cerca de 50% da altura da maré. As componentes ter-diurna (M3) e quarto-diurna (M4) e as compostas, não lineares ou de pequeno fundo (MN4 e MS4), apresentam grande importância no comportamento da onda de maré, em termos de elevação e velocidade de corrente. Da desembocadura à cabeceira da baía, verifica-se: (1) uma amplificação da altura de maré; (2) um

incremento na assimetria das correntes e; (3) um aumento na amplitude das constituintes de águas rasas da onda de maré (principalmente MS4 e MN4) e da componente quarto-diurna (M4), gerado pelas interações não lineares da onda com os limites do corpo estuarino (Camargo 1998, Marone & Jamiyanaa 1997). A amplificação da maré em direção à cabeceira resulta da característica hipersíncrona do estuário, onde o efeito da convergência excede ao atrito (Mantovanelli 1999), sendo basicamente controlada por ressonância, que depende da frequência de oscilação da onda de maré e do comprimento do estuário (Camargo 1998).

As correntes de vazante são, em média, 10 a 15% superiores às de enchente, devido à influência dos atritos lateral e de fundo, gradativamente maiores em direção à cabeceira (Camargo 1998) e, também, devido ao aporte de água doce e à circulação residual (Marone *et al.* 1995 *apud* Noernberg 2001). Mantovanelli (1999) estudou detalhadamente a hidrodinâmica em uma seção transversal em frente ao Porto de Paranaguá, indicando que a circulação induzida pela descarga de água doce nesta seção é de uma a duas ordens de grandeza inferior à induzida pela velocidade residual. A circulação residual em duas camadas (superfície e fundo) é mais desenvolvida nos canais profundos e as regiões rasas constituem canais preferenciais de vazante. A componente da corrente transversal na seção é em direção à margem Norte durante a enchente, e em direção à margem Sul durante a vazante.

Mantovanelli (1999) indicou ainda, na seção em frente ao Porto de Paranaguá, o predomínio da difusão turbulenta nas sizíguas de inverno, sob condições de reduzido aporte de água doce e elevadas velocidades de correntes, com correntes residuais estuário acima. O grau de turbulência ao longo da coluna d'água controla a distribuição vertical de MPS. Na quadratura há um predomínio de advecção sobre a ressuspensão. A zona de máxima turbidez, processo relacionado à erosão, ressuspensão e deposição de sedimentos, controlado pela intensidade da maré e pelas características das partículas em suspensão, está situada entre Antonina e Paranaguá. Na sizígia, as concentrações de material particulado em suspensão junto ao fundo são em média 10 vezes superiores às concentrações na quadratura (Mantovanelli 1999).

As correntes residuais de maré (modo barotópico) podem ser significativamente modificadas pelo vento, tanto na zona costeira como no interior da baía (Camargo 1998), sendo que o efeito do vento é particularmente importante na geração de marés meteorológicas, geralmente associadas à passagem de frentes frias. Estas marés promovem aumentos excepcionais do nível do mar no interior do complexo estuarino de até 0,80 m acima da maré astronômica (Marone & Camargo 1994 *apud* Noernberg 2001). O tempo de renovação da água doce (tempo de fluxo ou descarga) é de normalmente 3 a 10 dias, ocorrendo uma exceção em condições de aporte de água doce elevado e constante (verão), onde o tempo de renovação tende a ser menor (Mantovanelli 1999).

### 5.1.9.2. Resultados do modelo hidrodinâmico

Todas as simulações realizadas foram inicializadas a partir do repouso, isto é, com elevação e correntes nulas no instante inicial, isto se deve ao fato de não haver conhecimento prévio de um estado inicial a partir do qual a simulação pudesse iniciar.



Assim deve ser desprezado um intervalo de tempo no início de cada simulação, no qual o meio modelado entra em equilíbrio dinâmico com a forçante de maré nas bordas abertas (entrada do estuário). No estudo realizado o tempo foi da ordem de seis horas.

#### 5.1.9.2.1. Validação dos Resultados

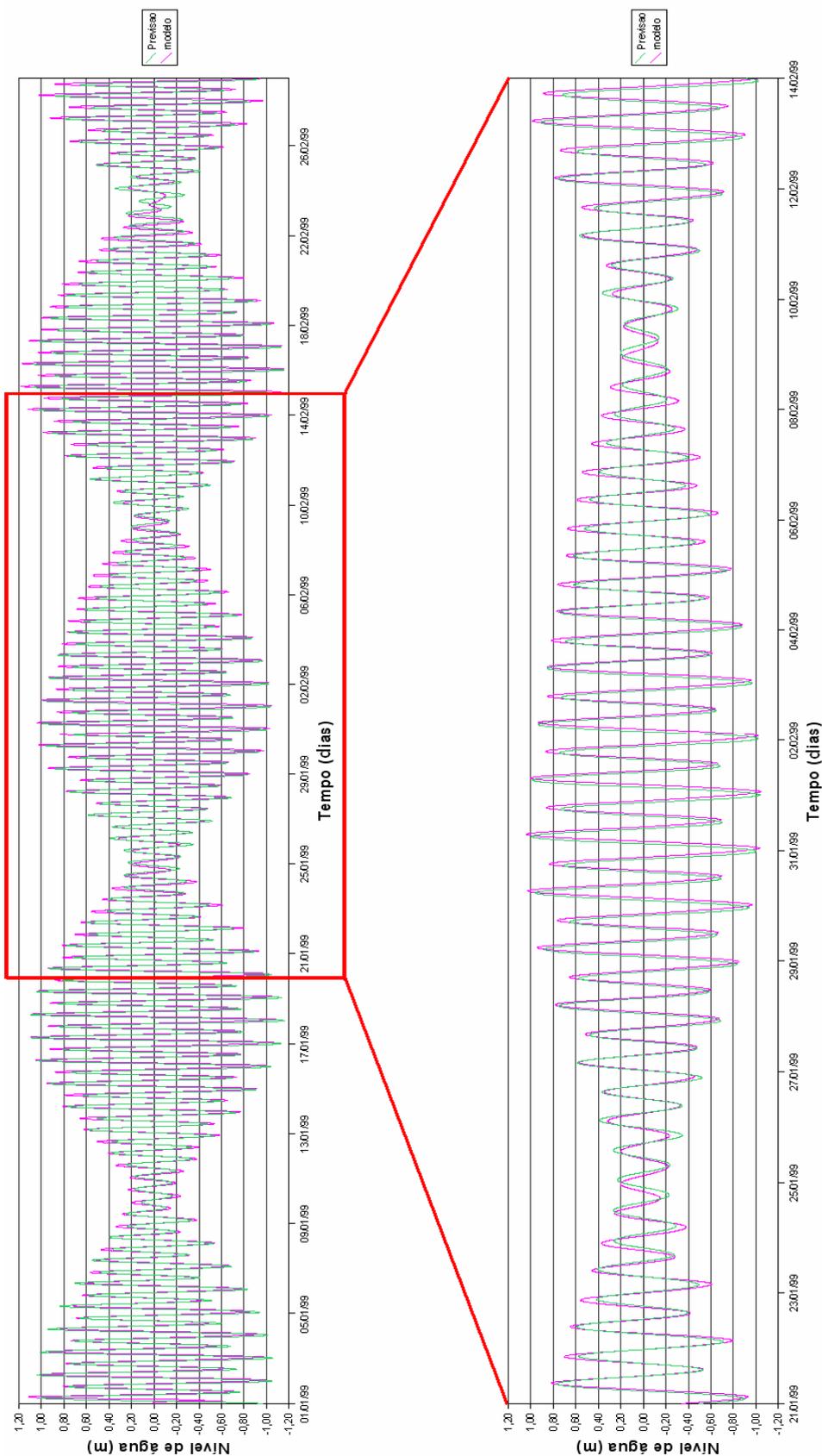
Para gerar confiabilidade aos resultados gerados pelo modelo numérico e verificar a sua capacidade em representar os processos reais, convém serem realizados testes de validação dos resultados, comparando os dados medidos com os campos vetoriais gerados nas simulações.

Na análise do modelo computacional foram realizadas comparações dos resultados de níveis de água nas localidades de Antonina, Paranaguá e Galheta. Os resultados de elevação da superfície do mar foram comparados com elevação gerada com as constituintes astronômicas e com dados medidos. As simulações foram realizadas no período 01/01/99 a 28/01/99, para avaliar o modelo durante ciclos completos de maré.

As previsões de maré foram obtidas através de reconstituição harmônica das mesmas constituintes usadas para forçar o modelo e realizadas por uma rotina computacional em linguagem de programação Fortran a partir de dados fornecidos pelo CEM/UFPR. As figuras 5.1.130 a 5.1.132 mostram a elevação da superfície do mar obtida com o modelo e a elevação gerada com as constituintes astronômicas para Antonina, Paranaguá e Galheta. A curva em vermelho representa o nível modelado e a curva em verde nível o previsto com constituintes astronômicas. Pode-se observar que de modo geral o modelo representou adequadamente a fase e a amplitude da onda de maré.

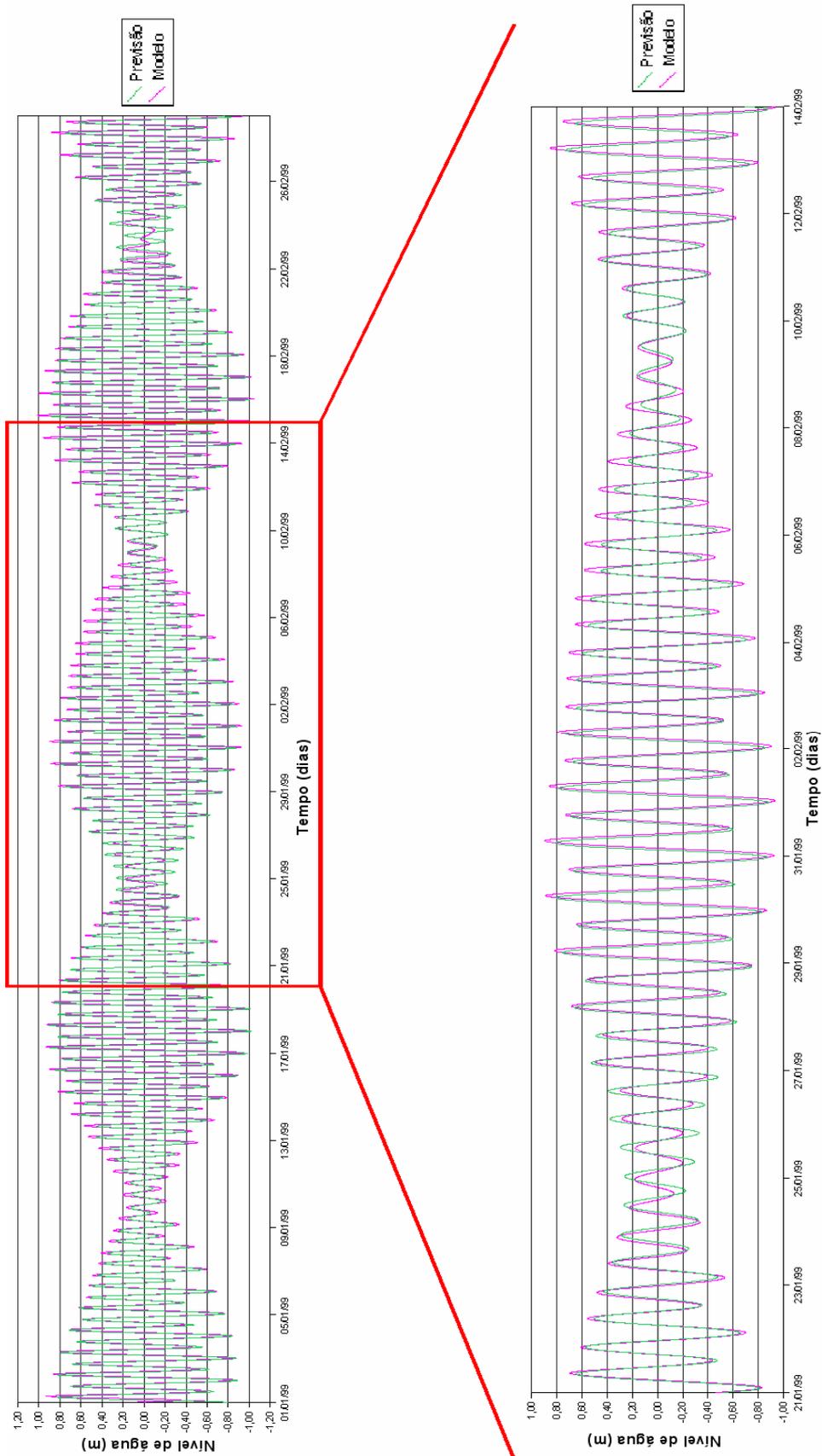
A fase encontra-se um pouco atrasada em período de sizígia e adiantada na quadratura na ordem de 20 minutos. As maiores diferenças de amplitude ocorreram em períodos de quadratura, sendo da ordem de 20 cm. A comparação realizada na Galheta foi a que forneceu uma maior diferença na amplitude e na fase, ocorrendo pela indisponibilidade de dados para a geração da previsão de maré.

*[Handwritten signatures and initials in the right margin]*

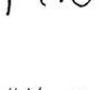


**Figura 5.1.130: Elevação da superfície do mar modelado em Antonina. Curva em vermelho nível modelado, curva em verde nível previsto com constituintes astronômicas.**





**Figura 5.1.131: Elevação da superfície do mar modelado em Paranaguá. Curva em vermelho nível modelado, curva em verde nível previsto com constituintes astronômicas.**

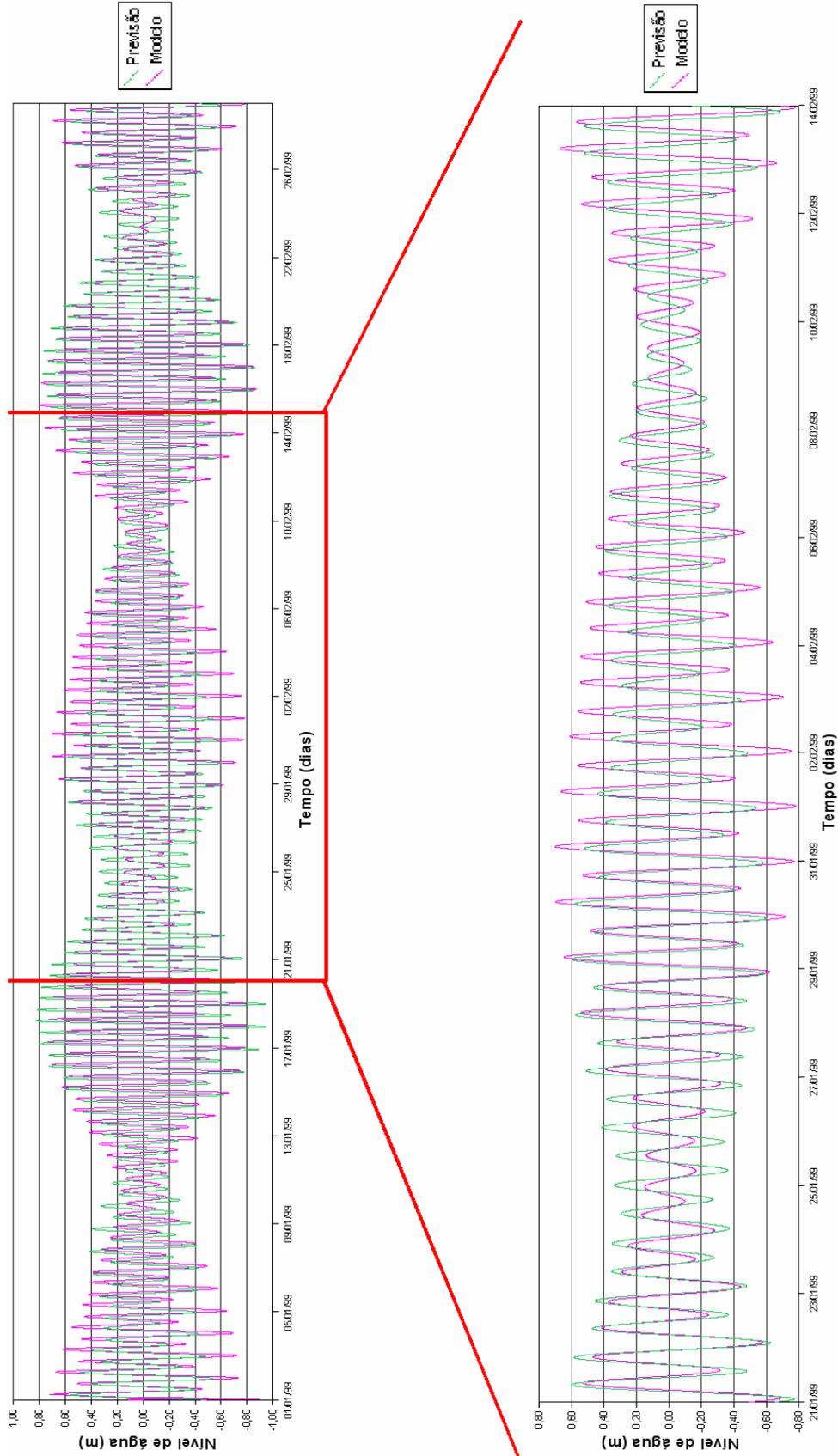
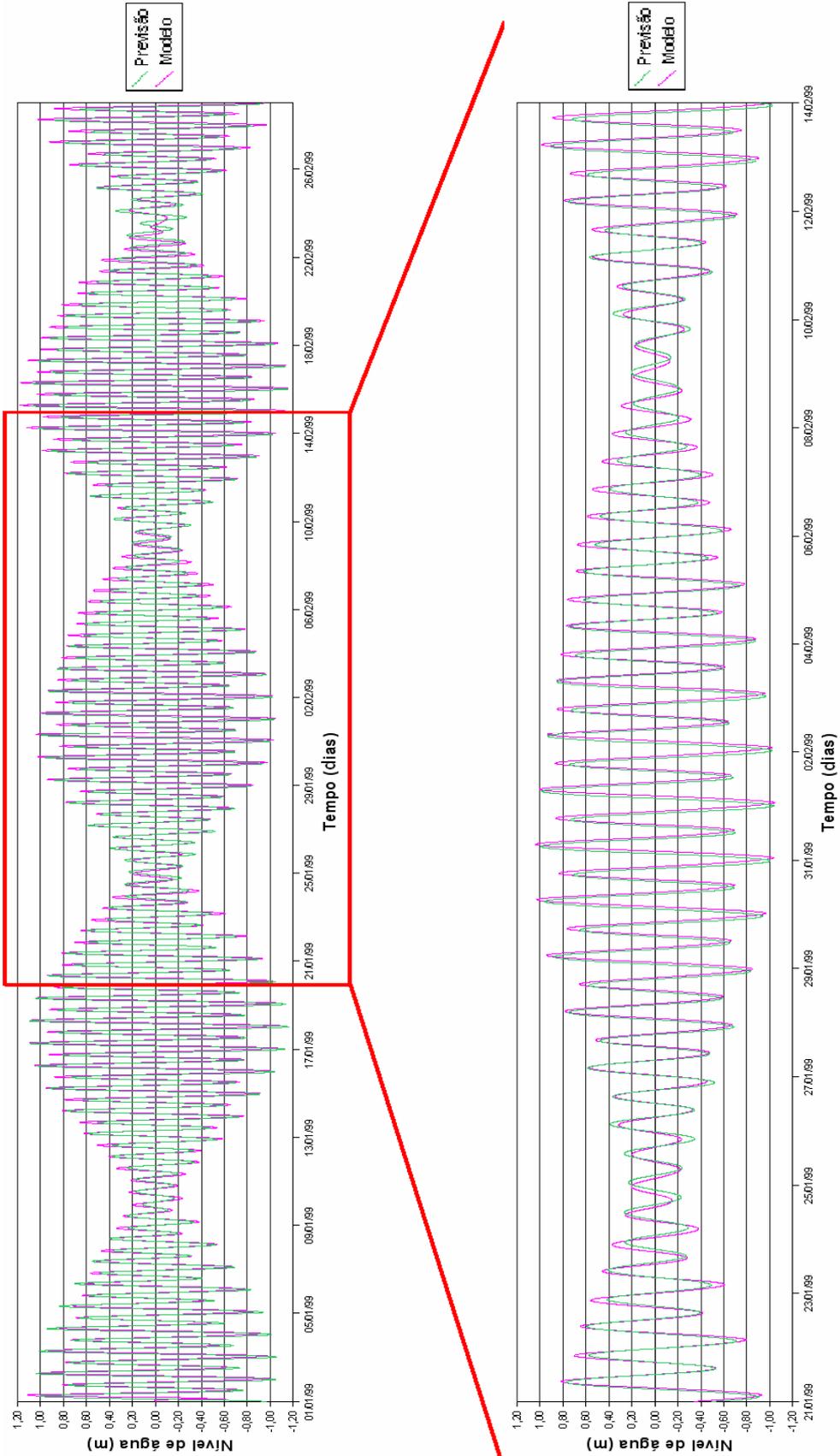



Figura 5.1.132: Elevação da superfície do mar modelado na Galheta. Curva em vermelho nível modelado, curva em verde nível previsto com constituintes astronômicas.

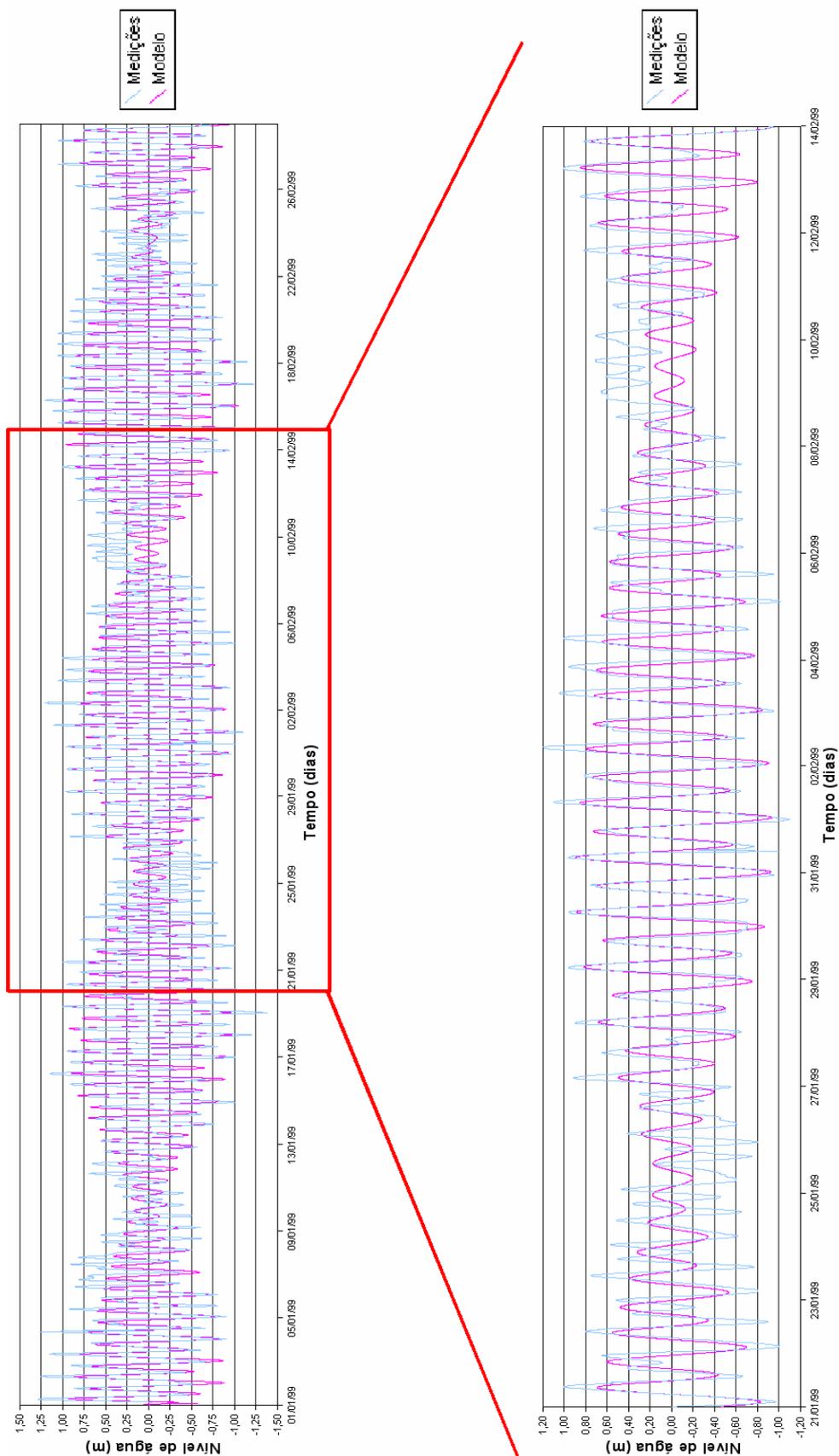
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  



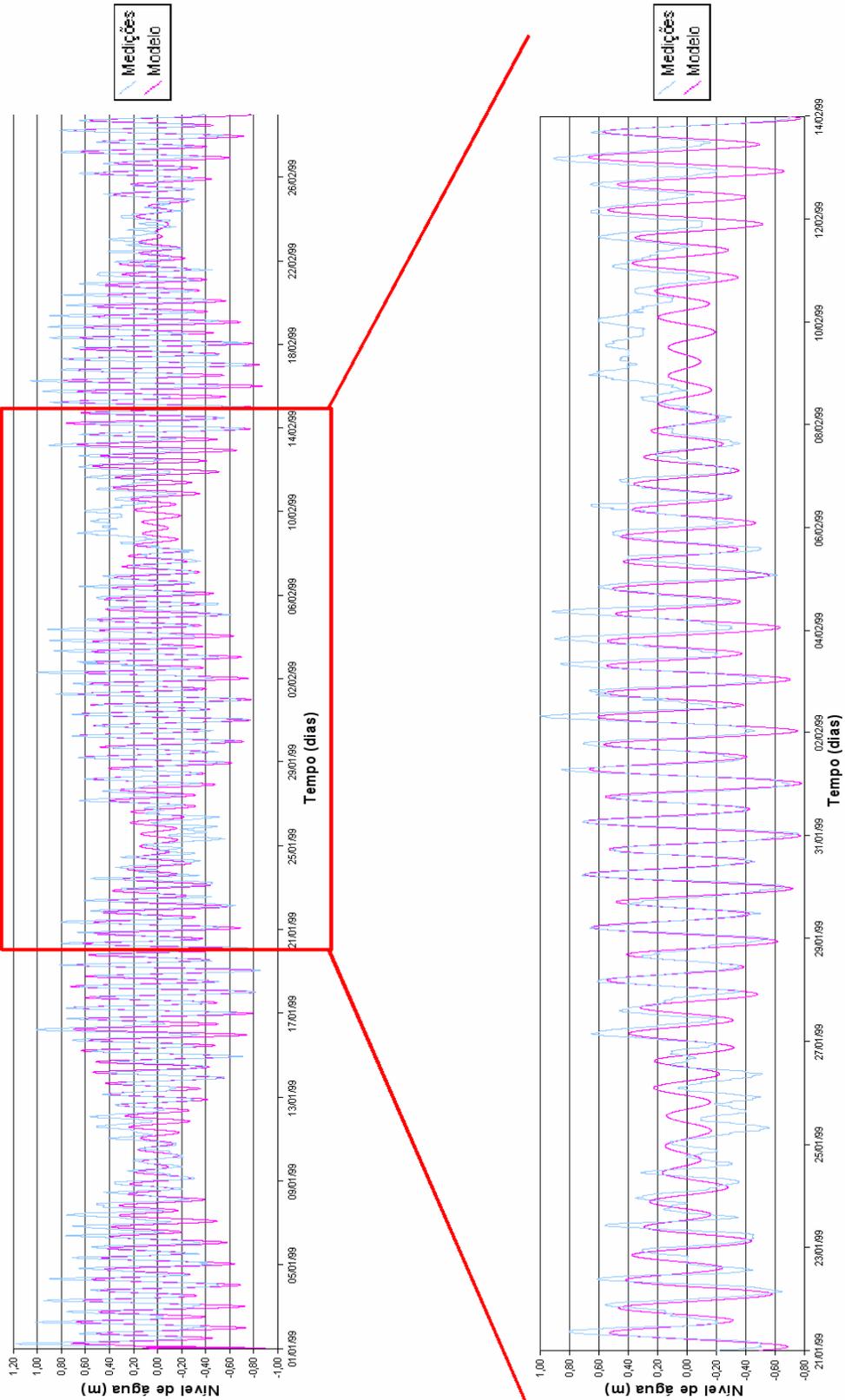
**Figura 5.1.133: Elevação da superfície do mar modelado em Antonina. Curva em vermelho nível modelado, curva em verde nível medido.**

A vertical column of approximately 15 handwritten signatures is located on the right side of the page. The signatures vary in style and legibility, including some that appear to be initials or stylized names.



**Figura 5.1.134: Elevação da superfície do mar modelado em Paranaguá. Curva em vermelho nível modelado, curva em verde medido.**

A vertical column of approximately 18 handwritten signatures is located on the right side of the page. The signatures vary in style and legibility, representing various stakeholders or reviewers involved in the project.



**Figura 5.1.135: Elevação da superfície do mar modelado na Galleta. Curva em vermelho nível modelado, curva em verde nível medido.**

[Handwritten signatures and initials]

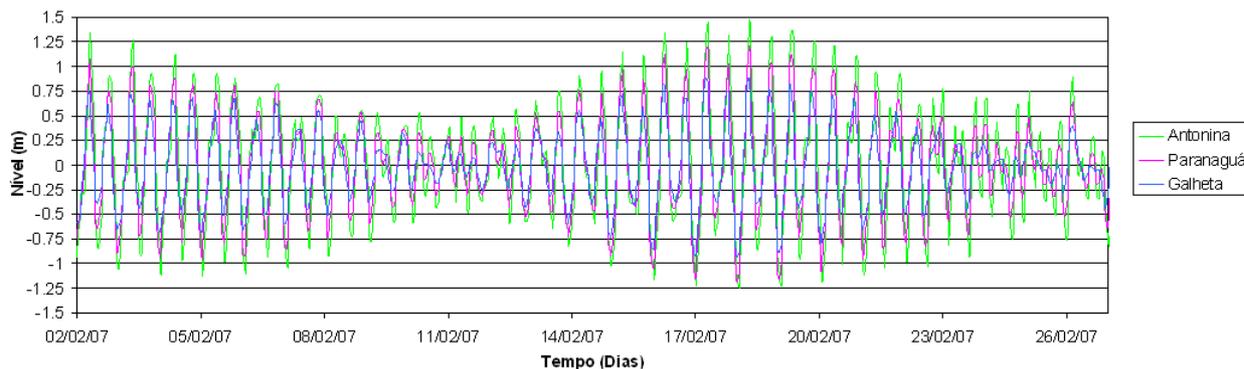


Figura 5.1.136: Amplificação da elevação da superfície do mar entre Antonina, Paranaguá e Galheta.

### Batimetria Baía de Paranaguá (m)

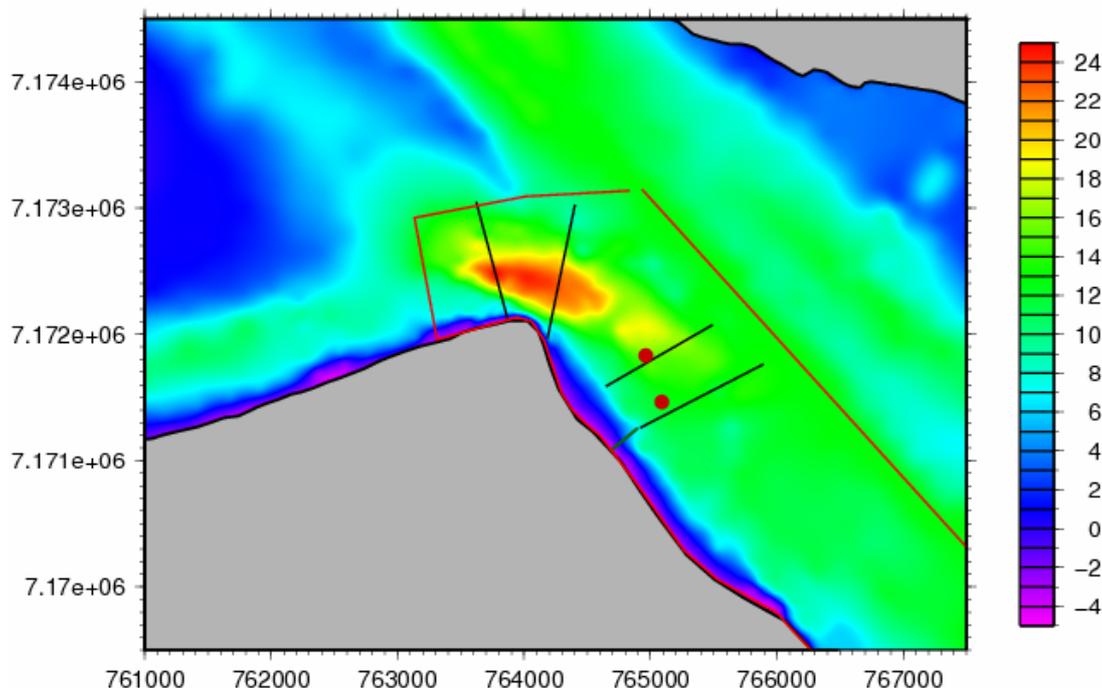
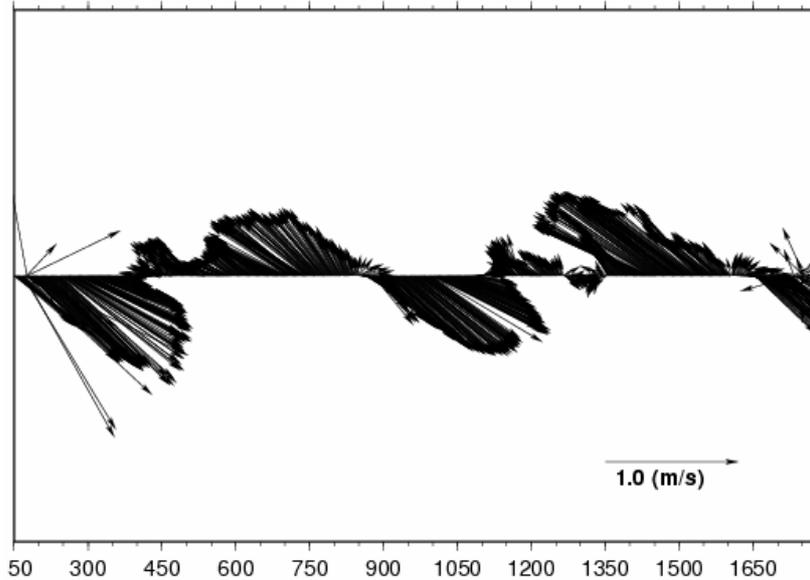


Figura 5.1.137: Campo batimétrico e localização dos pontos de monitoramento.

A figura 5.1.138 mostra a evolução temporal do vetor velocidade monitorado pelo fundeio localizado próximo à Techint, ponto sul da figura 5.1.137. O período monitorado foi entre 13/06/07 às 15:00 h e 14/06/07 às 18:00 h. As máximas velocidades nesse período foram da ordem de 1,3 m/s na direção da saída do estuário. A inclinação dos vetores, próximo de 45°, mostra que o fluxo acompanha o alinhamento do canal da Galheta, com componentes norte e leste da mesma magnitude. A velocidade média para esse período de observação foi de 0,51 m/s. A figura 5.1.139, que representa a evolução temporal da velocidade gerada pelo modelo no mesmo ponto e período, mostra que o modelo representou de forma adequada as intensidades e direções das velocidades. A forma mais bem comportada dos vetores velocidade reproduzidos pelo modelo se deve ao fato dessa velocidade ser a velocidade média na coluna de água,

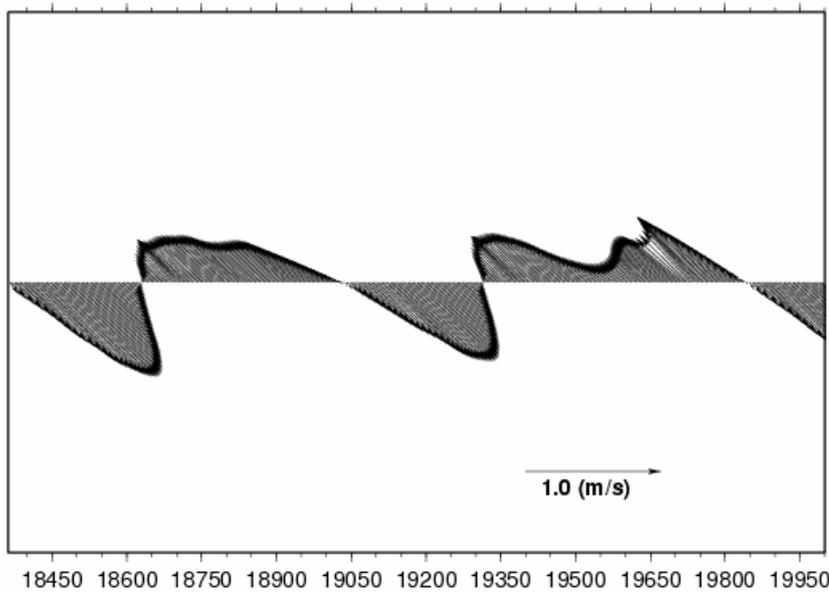
enquanto que a velocidade monitorada representa a intensidade e direção da velocidade a aproximadamente um metro de profundidade. A velocidade média para esse período, obtida pelo modelo, foi de 0,48 m/s, uma diferença de apenas 58% em relação à média da velocidade medida, mostrando que o modelo foi capaz de reproduzir de forma satisfatória o comportamento da circulação na região de maior interesse.

**Evolução Temporal da Velocidade (m/s)**



**Figura 5.1.138: Evolução no tempo da velocidade subsuperficial monitorada por fundeio próximo a Techint. Período entre 13/06/07 as 15:00 h e 14/06/07 as 18:00 h.**

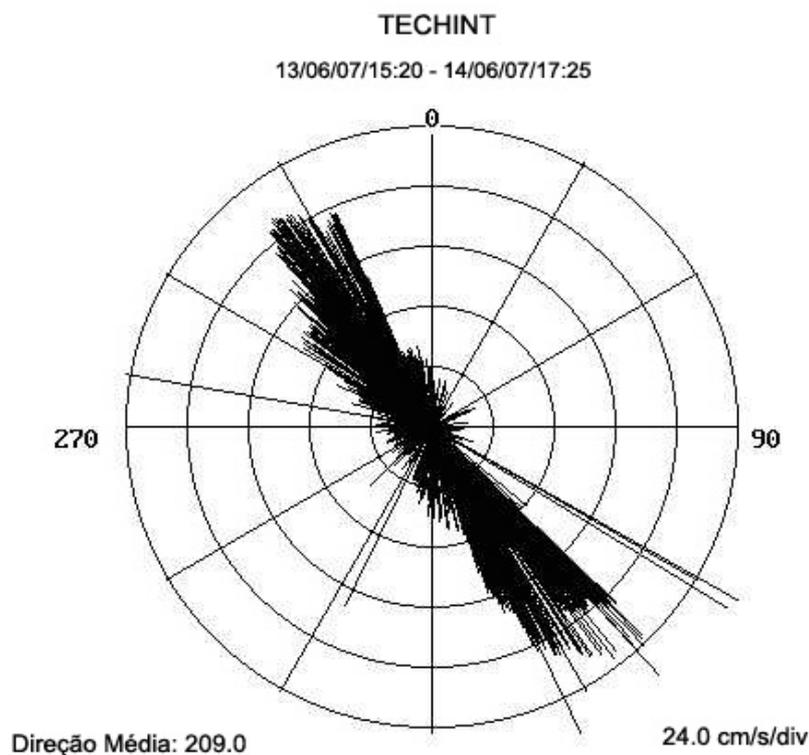
**Evolução Temporal da Velocidade (m/s)**



**Figura 5.1.139: Evolução no tempo da velocidade modelada em um ponto próximo a Techint. Período entre 13/06/07 as 15:00 h e 14/06/07 as 18:00 h.**

[Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like H. H., J. G., J. S., H. H., R. S., and others.]

A figura 5.1.140 representa as direções preferenciais da velocidade monitorada pelo fundeio nas proximidades da Techint, ponto sul na figura 5.1.137. Os vetores distribuem-se predominantemente segundo um mesmo eixo, noroeste-sudeste, invertendo seu sentido de acordo com a situação de enchente ou vazante. Como já mencionado anteriormente, as máximas velocidades ocorrem durante a vazante e chegam a atingir magnitudes superiores a 1,0 m/s. Na figura 5.1.141 é apresentada a distribuição de vetores obtidos com a simulação do modelo numérico. Observa-se que os vetores são bem comportados e orientam-se ao longo da direção noroeste-sudeste (direção do canal principal de navegação), como era de se esperar em uma área de canais de maré em ambientes estuarinos. Em comparação com a distribuição obtida pelo fundeio, observa-se que o modelo representou de forma muito satisfatória as direções predominantes e a intensidade da velocidade, sendo que a maior discrepância reside no fato do modelo não apresentar a maior dispersão de direções observada no monitoramento. Isso se deve pela mesma razão já comentada anteriormente, o campo de velocidade modelado representa a velocidade média na vertical, enquanto que a velocidade monitorada representa a velocidade observada em um ponto da coluna de água localizado logo abaixo da superfície.



**Figura 5.1.140: Velocidade subsuperficial monitorada por fundeio próximo a Techint. Período entre 13/06/07 as 15:00 h e 14/06/07 as 18:00 h.**

A vertical column of handwritten signatures and initials is located on the right side of the page, including names like 'H. Yang', 'R.S.', 'M. L.', 'J.', and others.



corrente nas baías de Paranaguá e Antonina acompanham o canal de navegação de seus respectivos terminais portuários. Também é possível observar que as velocidades das correntes no interior destas baías (em torno de 0,5 m/s) são mais intensas que as verificadas na região externa do estuário (em torno de 0,10 m/s).

As figuras 5.1.144 e 5.1.145 mostram a hidrodinâmica das marés vazante e enchente para o período de quadratura. Com intensidades inferiores ao período de sizígia, as correntes de maré vazante apresentam padrão similar às correntes de maré enchente, entretanto com maior intensidade. O estrangulamento estabelecido pela presença da Ilha do Mel na saída do estuário, apesar de apresentar profundidades relativamente maiores ao restante do CEP, causa uma aceleração na velocidade das correntes, o que é fisicamente coerente.

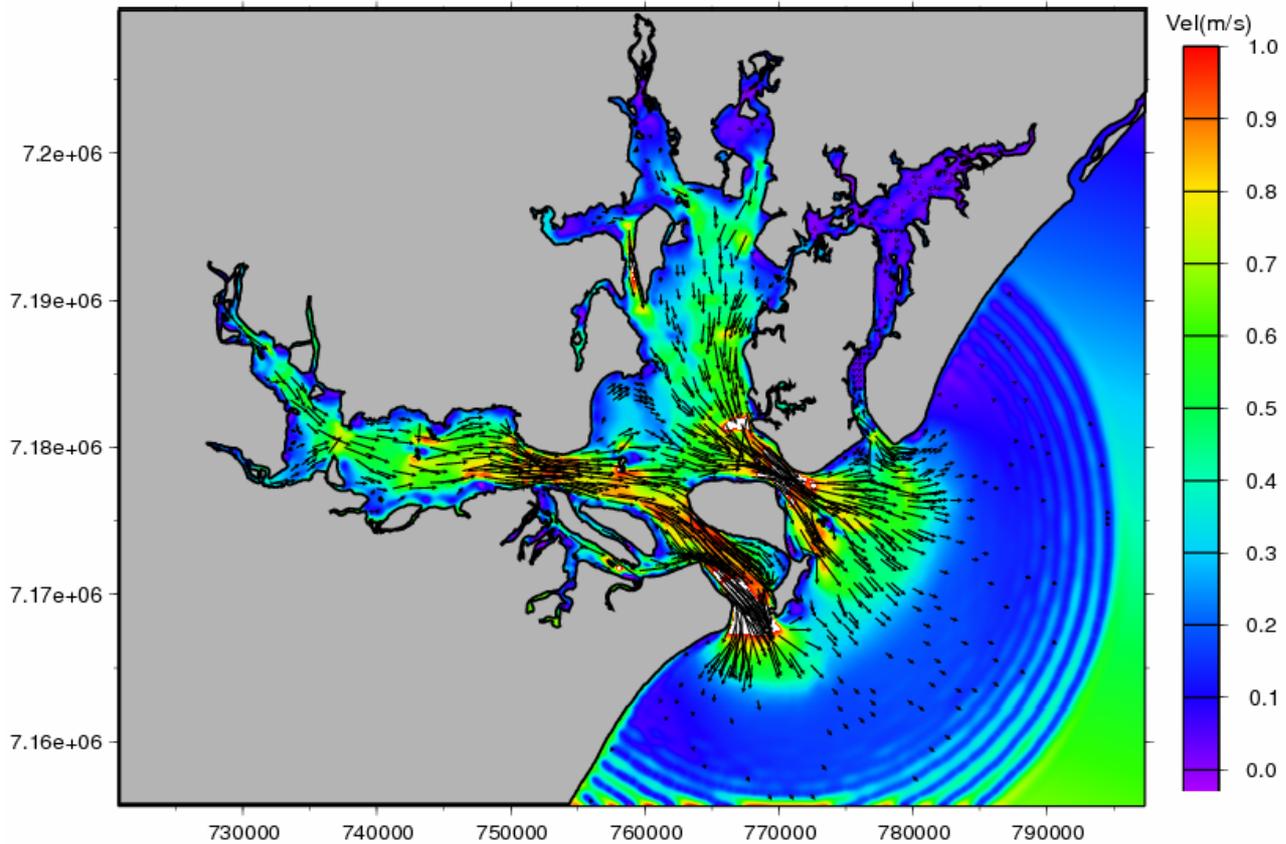


Figura 5.1.142: Campo de velocidade para toda a região do CEP; período de sizígia, instante de maré vazante.

[Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like H.10, H. Yang, R.S., and others.]

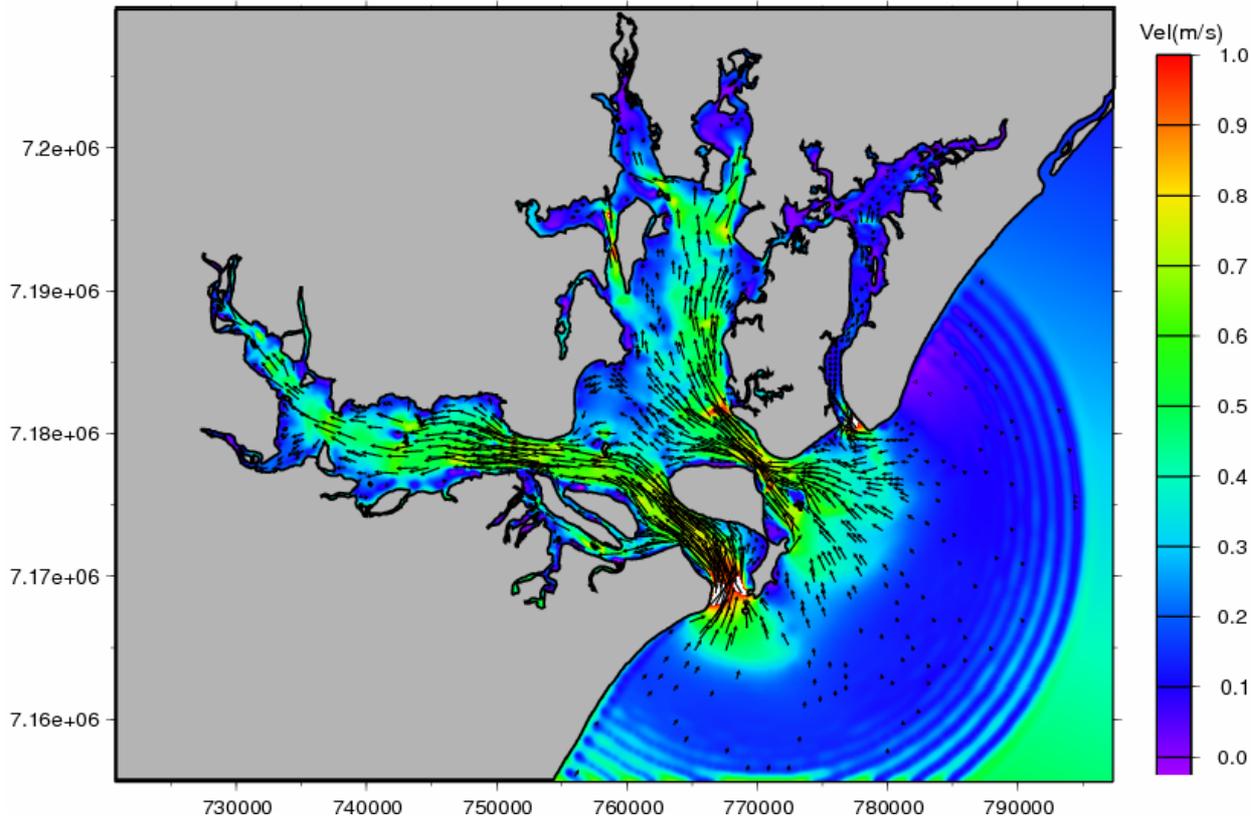


Figura 5.1.143: Campo de velocidade para toda a região do CEP; período de sizígia, instante de maré enchente.

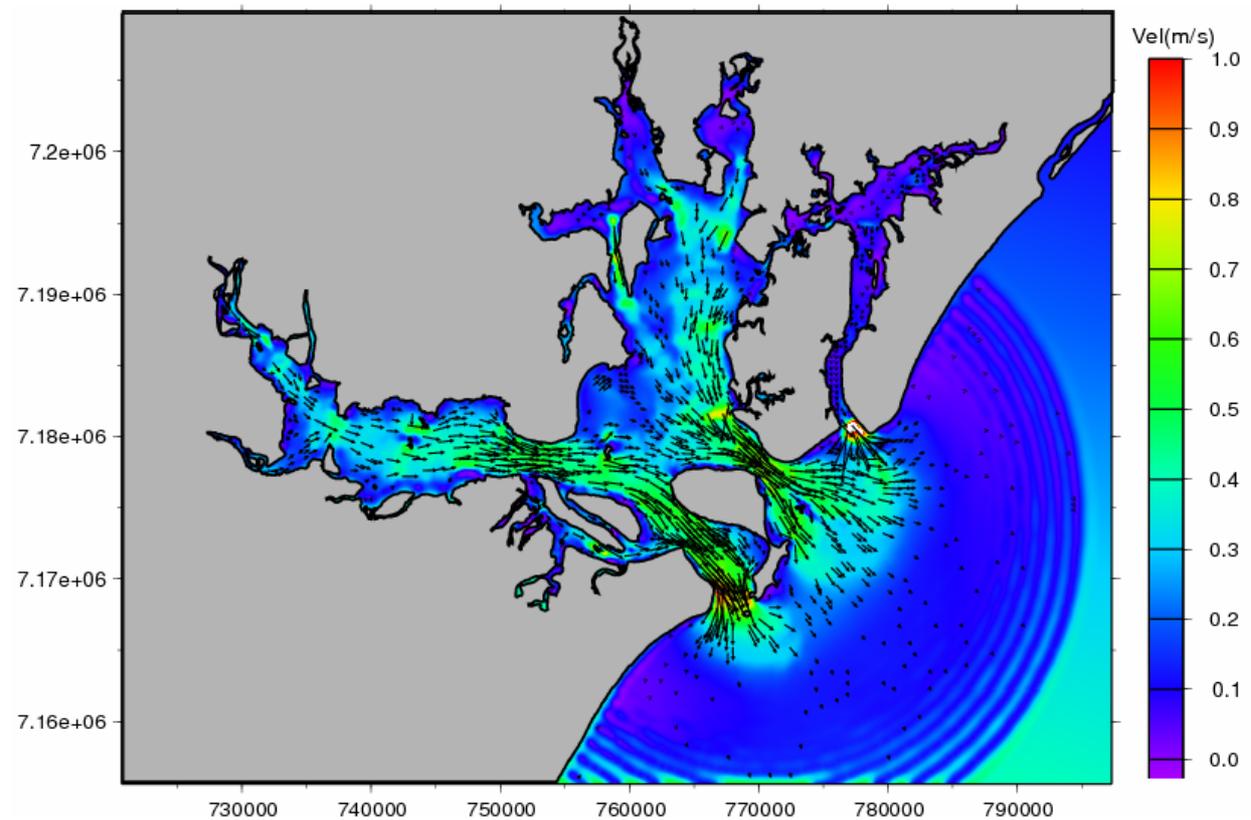
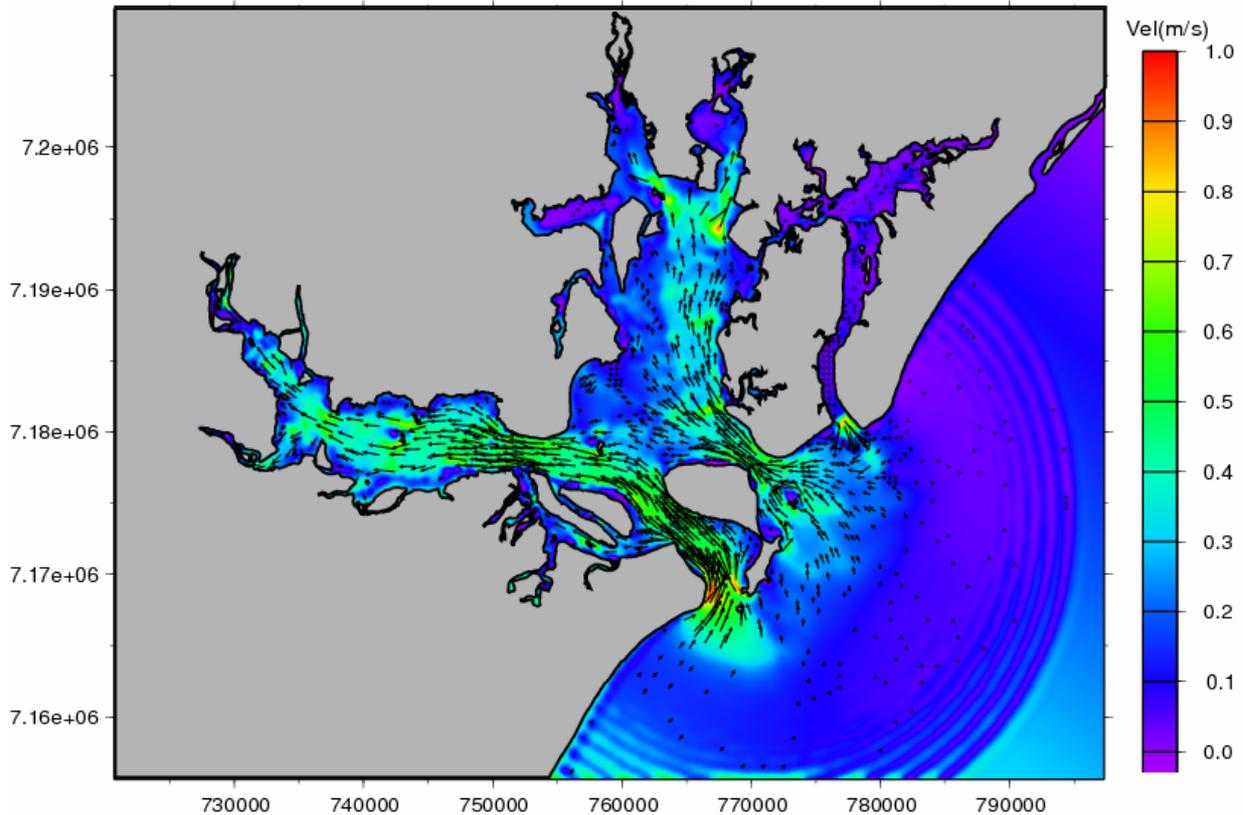


Figura 5.1.144: Campo de velocidade para toda a região do CEP; período de quadratura, instante de maré vazante.

[Handwritten signatures and initials]



**Figura 5.1.145: Campo de velocidade para toda a região do CEP; período de quadratura, instante de maré enchente**

### 5.1.9.2.3. Área de Influência Direta

Para uma melhor visualização da área de interesse e detalhamento dos resultados na área de influência direta, são apresentadas as figuras 5.1.146 a 5.1.148, com foco na área de maior interesse, o canal de navegação e a área do empreendimento. Percebe-se, pela grande concentração de vetores de velocidade na região do empreendimento e principalmente na embocadura do sistema – a baía – que a grade do modelo apresenta boa resolução nesses pontos. Isso influenciou positivamente na qualidade dos resultados obtidos para essa região.

A figura 5.1.146 é capaz de mostrar de forma clara como é o comportamento atual das velocidades em uma maré vazante de sizígia. São encontradas velocidades superiores a 1,6 m/s à medida que o fluxo de dirige para a desembocadura do sistema, e atinge o ponto de maior estrangulamento. No local para o qual está planejado o TCPP há, atualmente, altas velocidades mais próximas ao canal de navegação, com valores variando em torno de 1,0 m/s. Essa velocidade decai rapidamente é rapidamente diminuída quando se olha em direção à margem. No local a ser aterrado para a construção do TCPP, há uma área de sombra com velocidades muito baixas, tendendo a zero na interface com o continente.

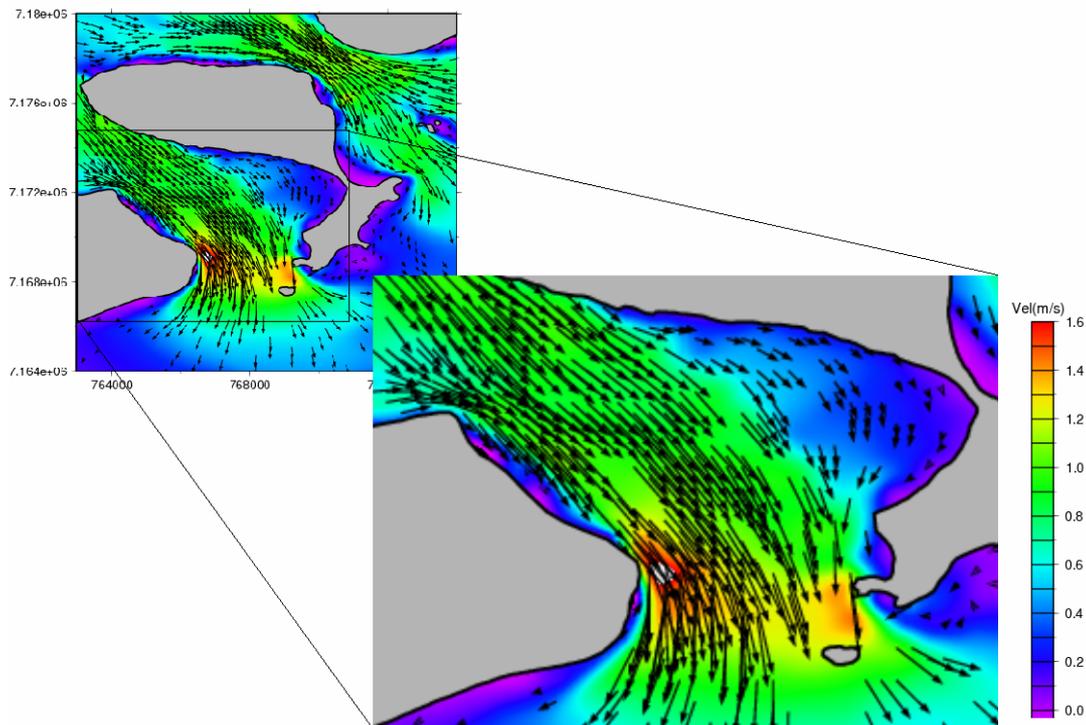
Na entrada do canal de navegação, entre as ilhas do Mel e da Galheta há outra área com velocidades altas. Tais velocidades já são conhecidas e mostram a sensibilidade

[List of handwritten signatures and initials on the right margin]

do modelo na tentativa de reproduzir a realidade. Essas altas velocidades (aproximadamente 1,3 m/s) são causadas pelo estrangulamento do canal de navegação nesse trecho, causado pela Ilha da Galheta.

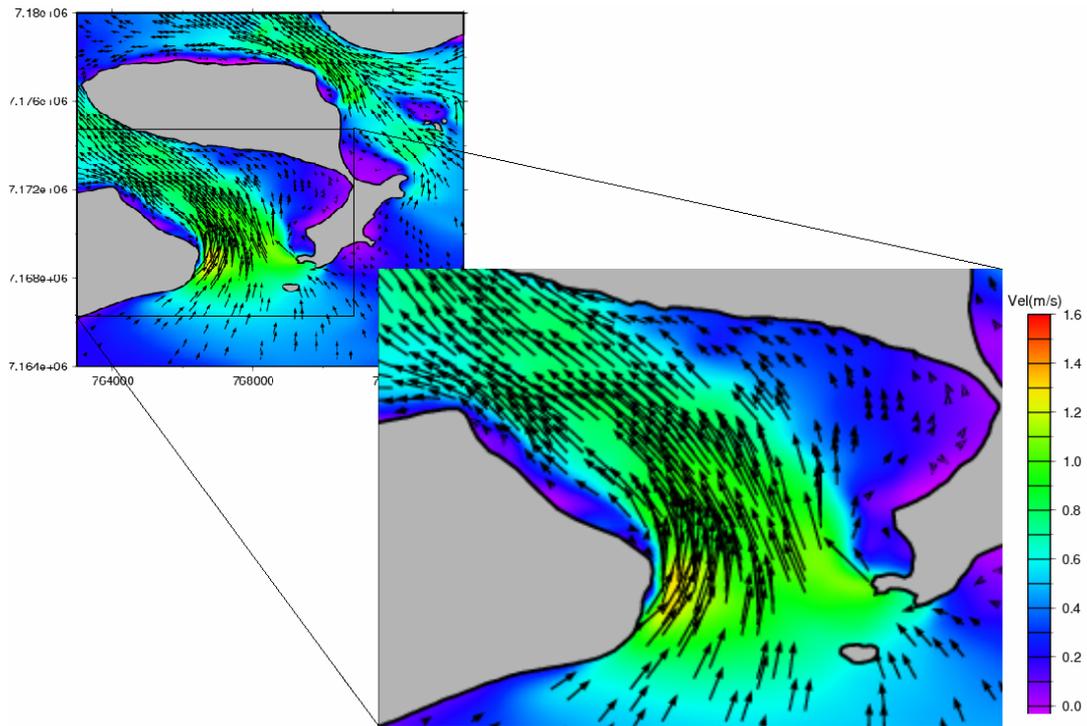
A figura 5.1.147 mostra o comportamento hidrodinâmico para a região de maior interesse nesse estudo. Esse é o resultado para uma simulação para o período de sizígia, com maré enchente. Há duas diferenças básicas entre os resultados dos vetores de velocidade para os períodos de maré enchente e vazante (além da óbvia inversão no sentido do fluxo): 1) o período de maré vazante apresenta velocidades mais intensas que o período de enchente; 2) para o período de enchente a área próxima à região denominada Ponta do Poço (região onde se situará o TCPP) apresenta uma área com velocidades baixas, maior que para o período de vazante. Isso se deve ao fato de que o continente – o balneário de Pontal do Sul apresente uma geometria que protege essa região quando a maré está enchendo, formando assim uma área de sombra maior para esse período. Apesar disso, o campo de velocidades apresenta valores bem maiores em região um pouco mais afastada do continente.

Os campos vetoriais de velocidades, obtidos para os ciclos de enchente e vazante para a maré de quadratura (Figuras 5.1.148 e 5.1.149) apresentam valores bem menores. Nota-se, mais uma vez, que o campo de velocidades indica intensidades menores nas margens do sistema, como por exemplo, na região da Ponta do Poço. Esse local apresenta velocidades variando entre 0,3 m/s a zero na costa, tanto para o período de maré de enchente quanto para a vazante. Para a região um pouco mais afastada da margem, no canal de navegação, as velocidades situam-se próximas a 0,6 m/s. Essa intensidade aumenta na região próxima à ilha da Galheta atingindo valores próximos a 1,1 m/s.

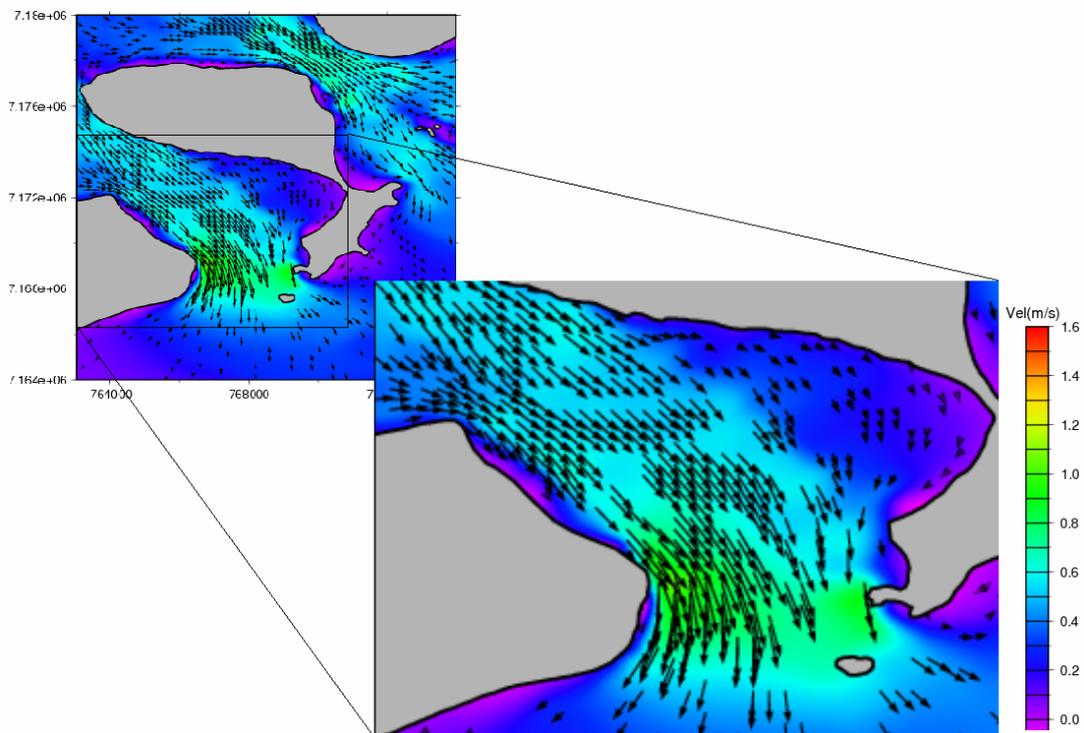


**Figura 5.1.146: Campo de velocidade para a região próxima ao TCPP; período de sizígia instante de maré vazante.**

*[Handwritten signatures and initials on the right margin:]*  
 H. J. ...  
 J. P. ...  
 J. G. ...  
 J. S. ...  
 J. H. ...  
 H. J. ...  
 J. P. ...  
 R. S. ...  
 J. P. ...  
 M. L. ...  
 J. P. ...



**Figura 5.1.147: Campo de velocidade para a região próxima ao TCPP; período de sizígia instante de maré enchente.**



**Figura 5.1.148: Campo de velocidade para a região próxima ao TCPP; período de quadratura, instante de maré vazante.**

A vertical column of approximately 20 handwritten signatures is located on the right side of the page, spanning from the top of the first figure to the bottom of the second figure.

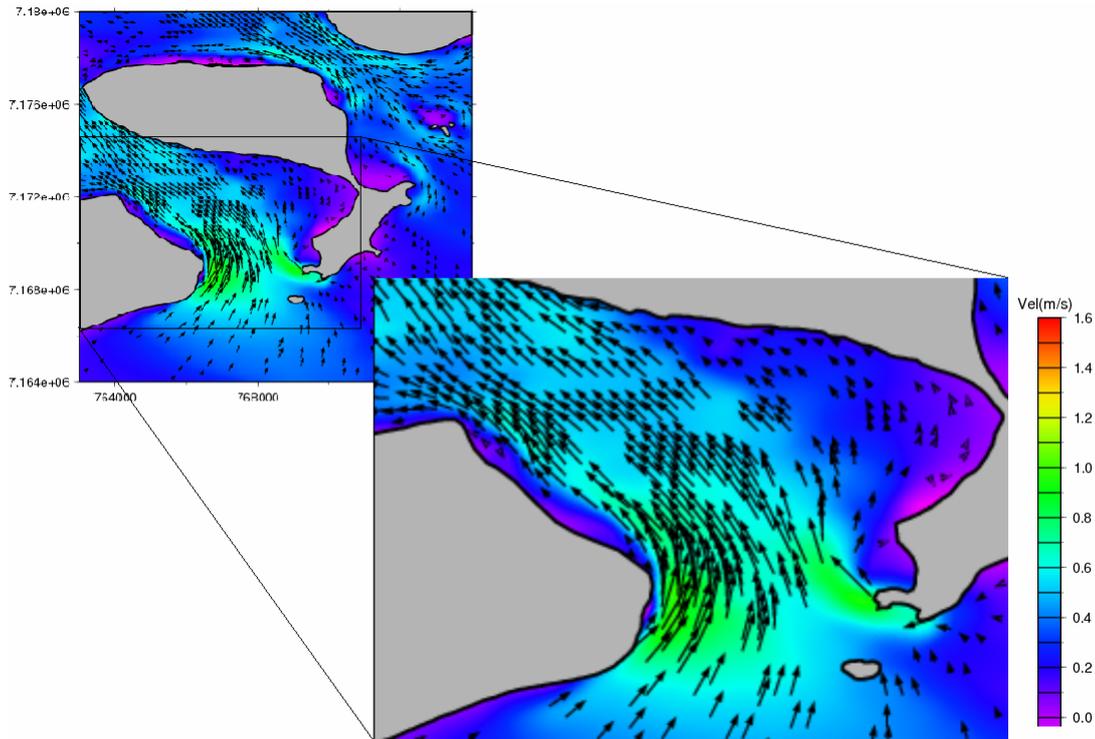


Figura 5.1.149: Campo de velocidade para a região próxima ao TCPP; período de quadratura, instante de maré enchente.

#### 5.1.9.2.4. Área Diretamente Afetada

A figura 5.1.150 mostra em detalhes o campo de velocidade para área diretamente afetada (polígono em vermelho) em uma situação de vazante durante a sizígia. Nesta figura fica evidente que devido à geometria da linha de costa nas proximidades da área do empreendimento, as velocidades são extremamente reduzidas, praticamente nulas. Durante a enchente (Figura 5.1.151), a situação não é diferente. Na área do empreendimento as velocidades são muito baixas, gerando condições de deposição de sedimento na região, fato já observado no local.

A região próxima à estrutura do píer da Techint mostra um comportamento interessante. Ao norte do píer, a área que será aterrada para a construção do novo porto, apresenta baixas velocidades nos períodos de enchente e vazante. Imediatamente atrás do píer, ao sul, a situação se inverte, observando-se velocidades mais intensas, diferentes de zero, sugerindo a existência de uma área com energia para efetuar a remoção de sedimento do local.

[Handwritten signatures and initials on the right margin of the page]

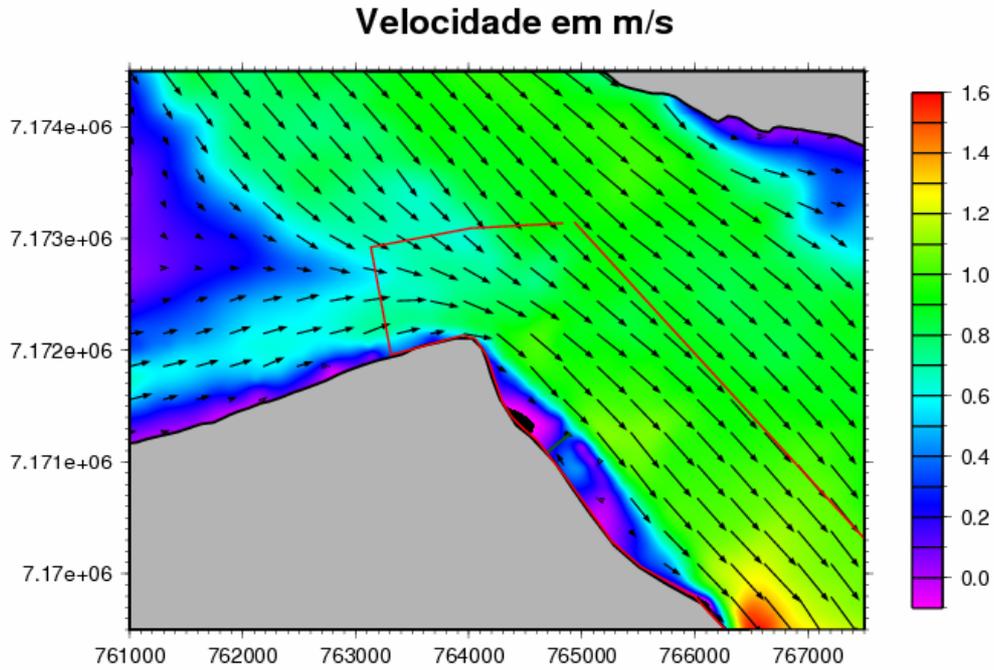


Figura 5.1.150: Campo de velocidade para a região diretamente afetada; período de sizígia, instante de maré vazante.

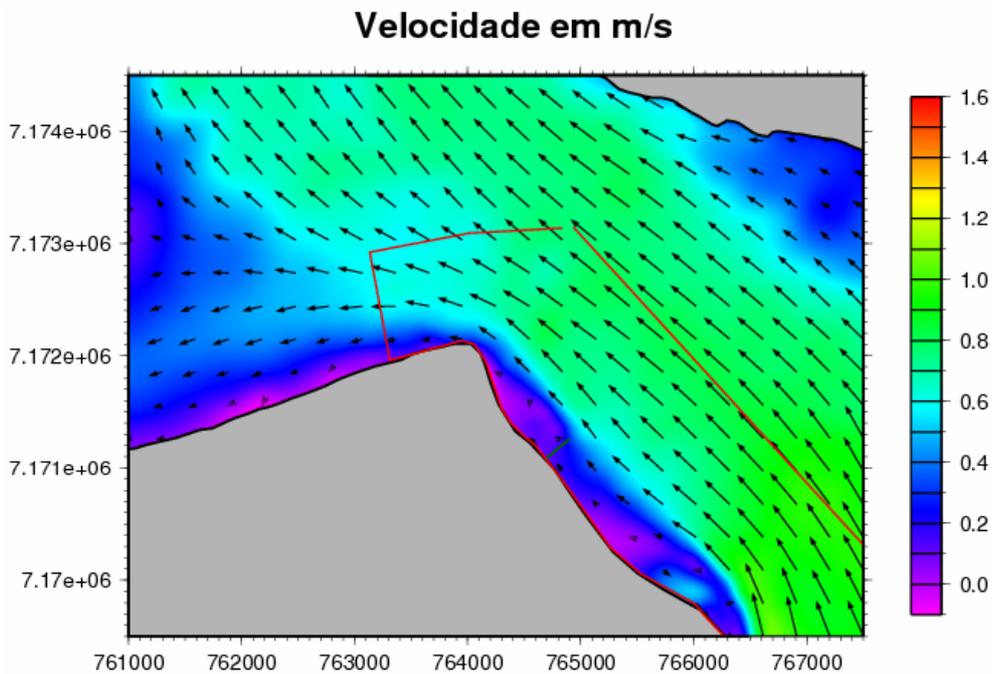


Figura 5.1.151: Campo de velocidade para a ADA; período de sizígia, instante de maré enchente.

### 5.1.9.3. Resultados do Modelo de Transporte de Sedimentos

Para diagnosticar o comportamento do sedimento na área de interesse optou-se pela construção de um cenário composto por uma camada de três metros de sedimento de fundo disponível para ressuspensão e transporte. Esse cenário foi idealizado porque em trabalhos anteriores, referentes à modelagem de sedimento no CEP (Barretto

Handwritten signatures and initials on the right margin of the page.

2006), observou-se que somente os sedimentos mais finos são transportados em suspensão na coluna da água, enquanto os sedimentos mais pesados, mesmo as areias relativamente finas, são transportados pelo fundo. Com isso em mente, optou-se por estudar como se dá a interação de uma camada de areia no fundo com o campo de corrente na região de interesse.

#### 5.1.9.3.1. Área de Influência Indireta

Considerando o tamanho do empreendimento e sua localização (parte mais externa do estuário), os resultados da dinâmica de sedimento para a área de influência direta não acrescentam nenhuma informação de interesse e por isso optou-se por não apresentá-los.

#### 5.1.9.3.2. Área de Influência Direta

Na margem onde será construído o empreendimento observa-se duas áreas de grande dinâmica dos sedimentos, delimitadas por retângulos pretos na figura 5.1.152. Na área sul, observa-se que ocorre erosão no ponto de inflexão da linha de costa e deposição na área imediatamente ao sul. Observando a mesma área na figura 5.1.153, que representa o campo de velocidade residual, nota-se que existe locais preferenciais das marés enchentes e vazantes. No interior do retângulo sul, o ponto de convergência das correntes residuais gera uma área de grande deposição de sedimento ao sul e uma área de erosão ao norte, gerada pelo fluxo residual vazante.

*[Handwritten signatures and initials in the right margin]*

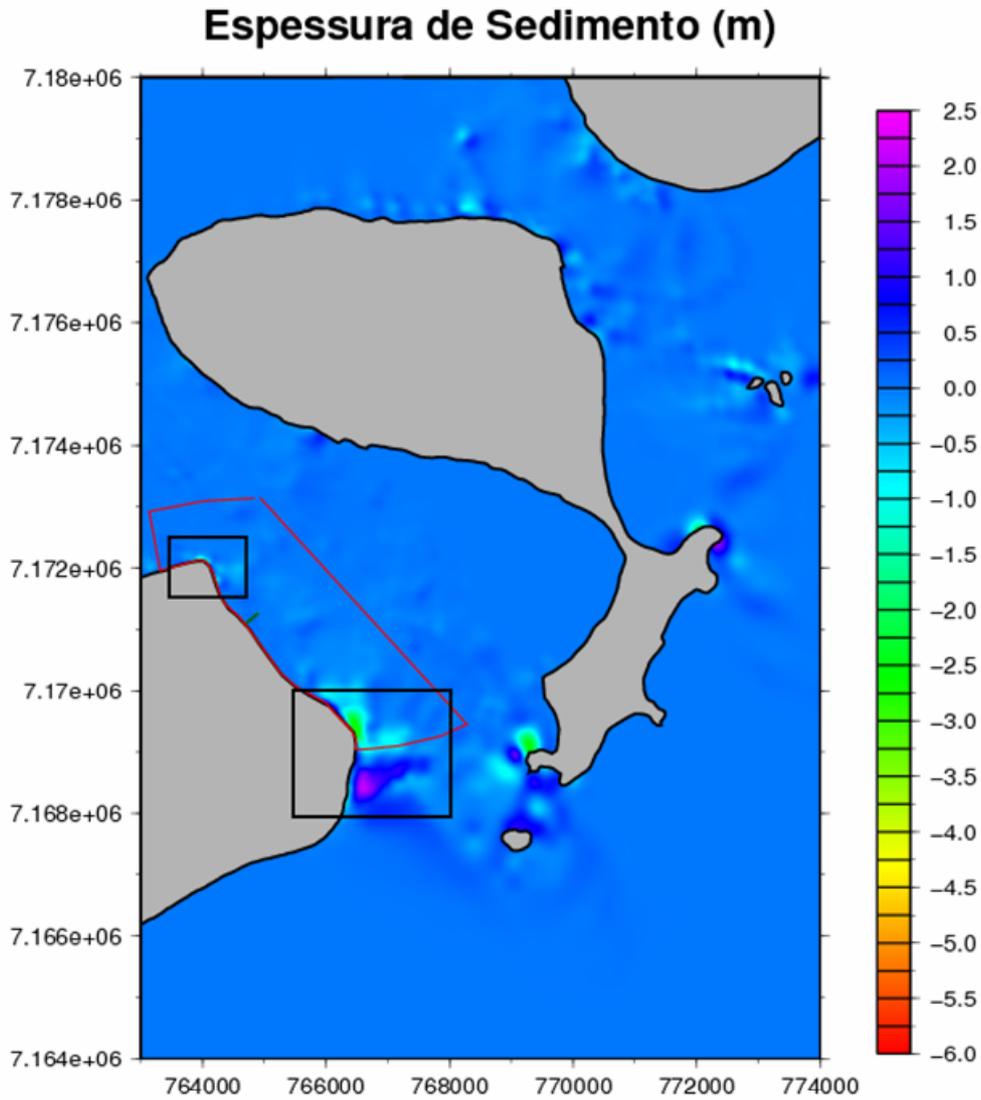
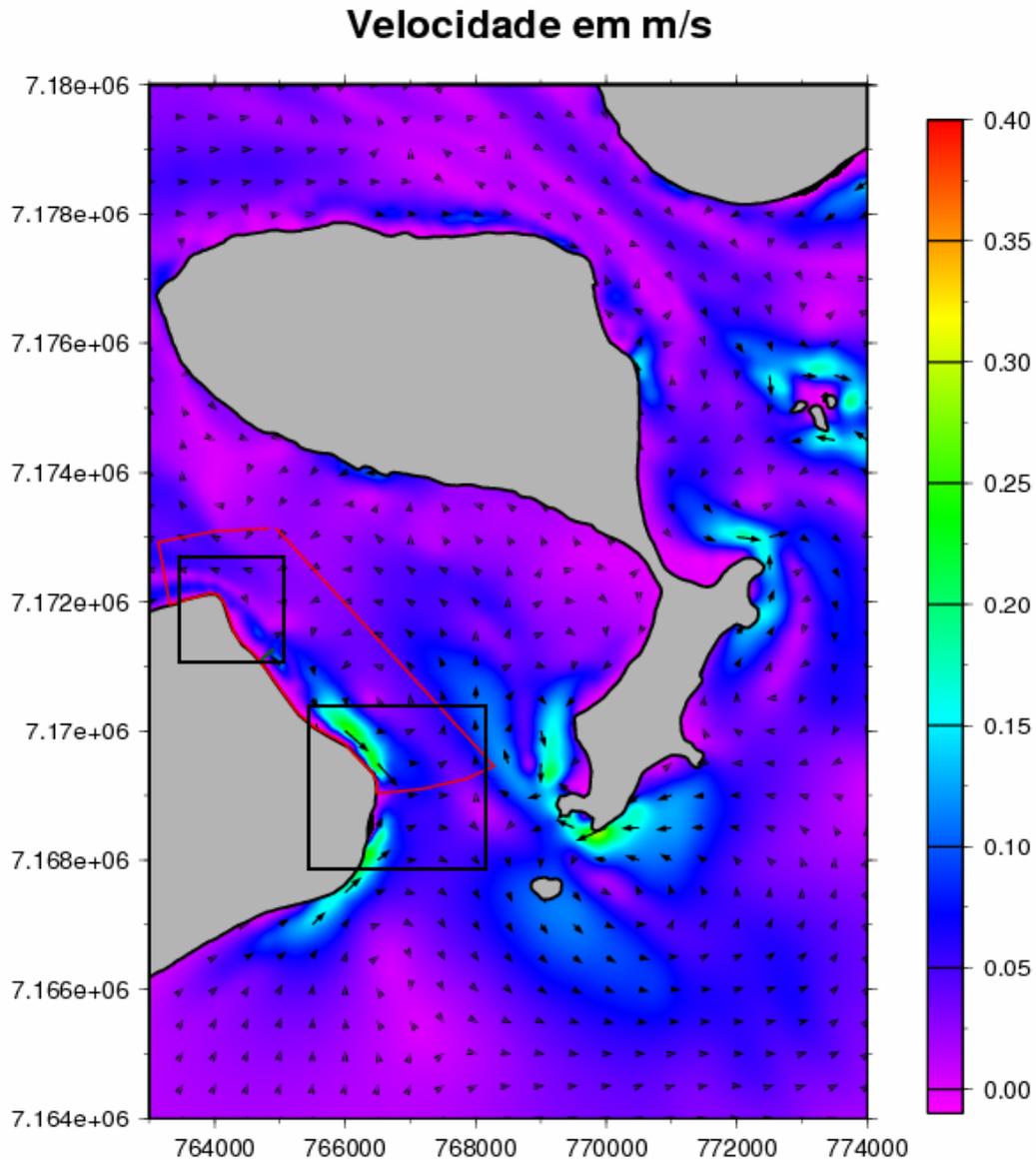


Figura 5.1.152: Mapa de espessura de sedimento de fundo. Valores negativos representam área de erosão e valores positivos áreas de deposição.

*[Handwritten signatures and initials]*



[Handwritten signatures and initials, including 'H.10', 'R.S.', and others, arranged vertically on the right margin.]

**Figura 5.1.153: Campo de velocidade residual para a área de influência direta**

**5.1.9.3.3. Área diretamente afetada**

Analisando o comportamento da área do empreendimento em maiores detalhes, é possível observar pela figura 5.1.154, que ocorre erosão em uma área bastante reduzida no ponto de inflexão da linha da costa. Essa área de erosão coincide com os fluxos mais intensos delimitados pelo canal de cor azul no interior da área contida no retângulo da figura 5.1.155.

Interessante notar que na área específica do empreendimento, além da erosão no limite norte praticamente nenhuma outra mudança é observada na área onde será realizado o aterro. Esse fato já havia sido observado anteriormente quando foram analisados os campos de velocidades instantâneos e voltou a ser observado no campo

de velocidade residual, que mostram que a região do empreendimento possui baixa energia e assim não apresenta transportes de sedimentos significativos.

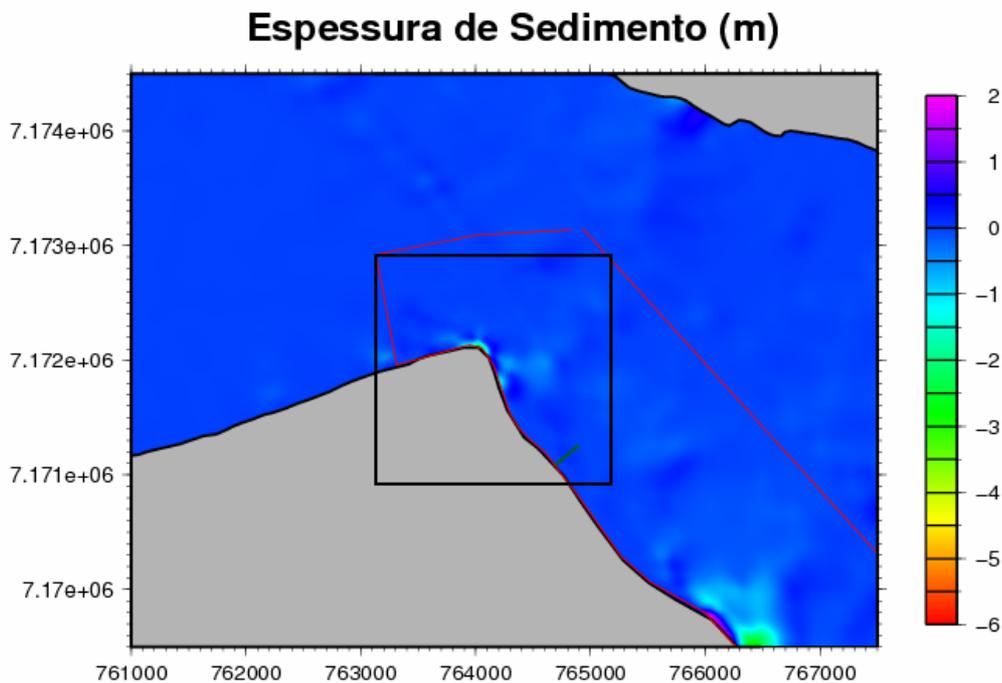


Figura 5.1.154: Mapa de espessura de sedimento de fundo na ADA. Valores negativos representam área de erosão e valores positivos áreas de deposição.

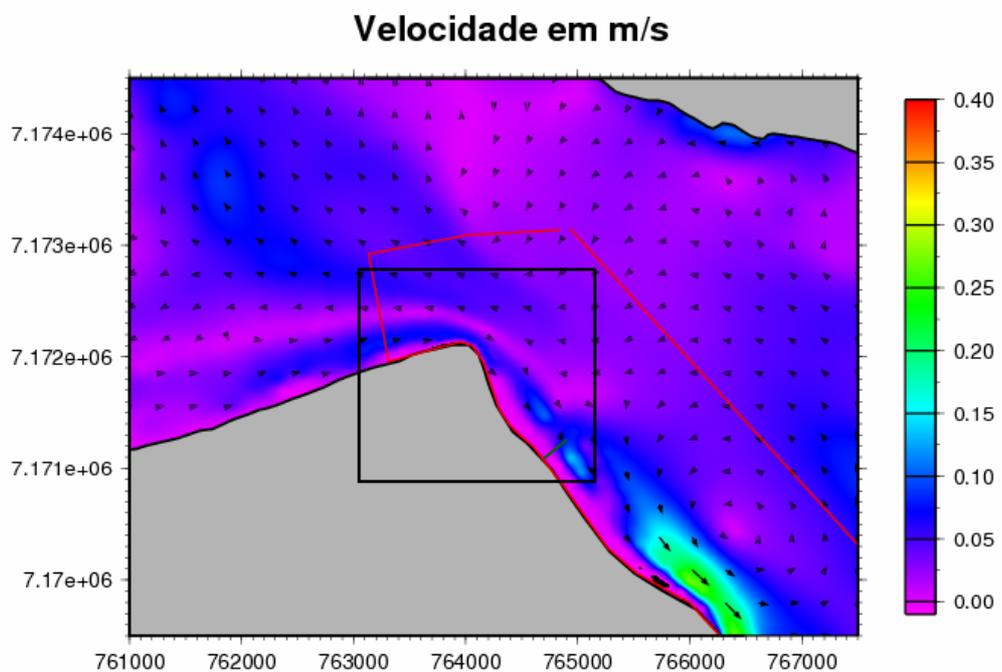


Figura 5.1.155: Campo de velocidade residual na área diretamente afetada.

[Assinaturas manuscritas]

**5.1.10. Níveis de ruído**

Este diagnóstico contempla uma avaliação do estado atual dos níveis de ruído da área de influência do Terminal de Contêineres de Pontal do Paraná. Conforme descrito na seção de metodologias, foram realizadas três campanhas de medição. Em uma pré-campanha, realizada em 09/03/07, foram monitorados a passagem de navios no canal de navegação de acesso aos portos das cidades de Paranaguá e Antonina (Figura 5.1.156), movimentação de pequena embarcação no trapiche (Figura 5.1.157), além de terem sido medidos os níveis de ruído locais sem interferências significativas de fontes de ruídos.



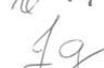
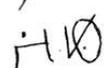
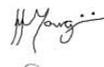
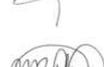
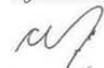
**Figura 5.1.156: Passagem de navio pelo canal de navegação**



**Figura 5.1.157: Movimentação de pequena embarcação no trapiche da área do TCPP.**

Nas outras duas campanhas principais (18 e 19/03/07) foram selecionados dias e horários que pudessem tornar o monitoramento significativo do ponto de vista de caracterizar cada um dos locais.

Nas seções a seguir serão apresentados e descritos os locais monitorados, assim como os dados obtidos nas campanhas de medição.


5.1.10.1. Locais monitorados

Utilizando os critérios apresentados no item 5.1.1.9.2, foram monitorados 5 pontos para o período noturno e quatro pontos adicionais no período diurno, todos na área de influência direta (AID) do empreendimento (Tabela 5.1.26).

Tabela 5.1.26: Localização dos Pontos monitorados em coordenadas UTM zona 22

Ponto	Local	Latitude (m)	Longitude (m)
1	Portão de entrada do TCPP	763890,19	7171597,47
2	Portão de indústria abandonada	763429,51	7171339,30
3	Ponto de ônibus	764707,86	7169230,10
4	Escola	764631,43	7169370,72
5	Trevo de entrada. Via de acesso ao TCPP	765250,04	7168190,73
6	Centro do píer do TCPP	763777,46	7172124,37
7	Prainha - esquerda ao píer do TCPP	763727,34	7172083,26
8	Mata. Entrando 50m da costa ao lado do píer.	763725,99	7172008,26
9	Em frente à casa amarela – TCPP	763816,75	7172012,34

As imagens dos pontos monitorados, com exceção do ponto 2, encontram-se nas figuras 5.1.158 a 5.1.165.



Figura 5.1.158: Portão de acesso ao TCPP



Figura 5.1.159: Ponto de ônibus, na beira da estrada, atual via de acesso ao TCPP

Handwritten signatures and initials on the right margin of the page.



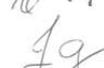
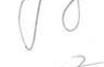
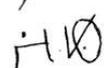
Figura 5.1.160: Escola, na beira da estrada, atual via de acesso ao TCPP

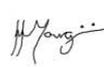
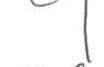
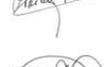


Figura 5.1.161: Trevo de entrada da estrada que leva ao terminal do TCPP



Figura 5.1.162: Píer localizado no TCPP

  
 Paulo Roberto de M. Souza  
  
  
  
  
  
  


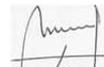
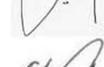
  
  
  
  




Figura 5.1.163: Pequena faixa costeira à esquerda do píer do TCPP

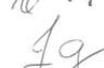
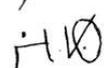


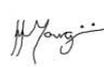
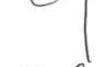
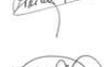
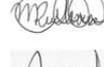
Figura 5.1.164: Mata a aproximadamente 50 m da faixa costeira à esquerda do píer do TCPP

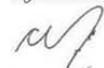
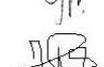


Figura 5.1.165: Ponto em frente a uma construção recente – dentro da área da TCPP

A figura 5.1.166 mostra ainda a localização geográfica de cada um dos pontos.

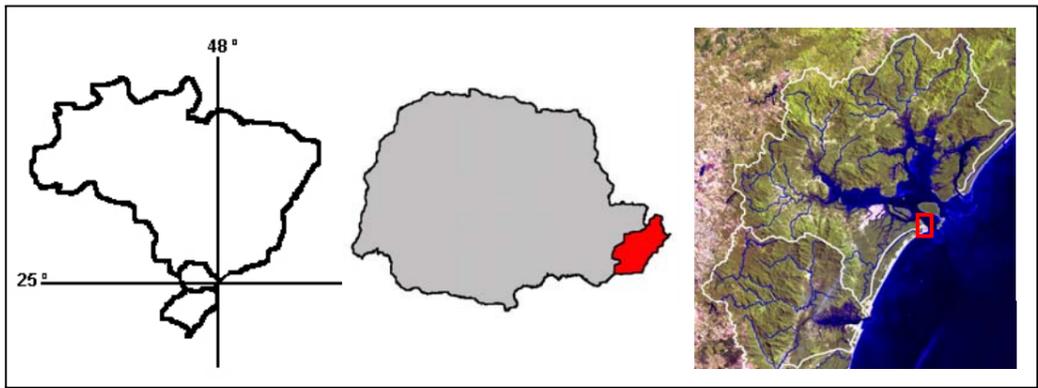



**LEGENDA:**

Pontos 1, 2, 8 e 9 – situados em áreas dentro e próximas do novo empreendimento. Foco em população com possibilidade de ser atingida por potenciais impactos.

Pontos 3 e 4 – situados na área mais próxima do empreendimento que concentra população passível de sofrer impactos.

Ponto 5 – situado na junção da PR-412 com a via de acesso atual ao TCPP e próximo do centro do balneário de Pontal do Sul.



 <b>AMB Planejamento Ambiental e Biotecnologia Ltda</b>		<b>Pontal do Paraná Importação e Exportação Ltda</b> 		
Coordenador Geral Rodolfo José Angulo		Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental para o Terminal de Contêineres de Pontal do Paraná		Data jun/2007
Geoprocessamento Maria Cristina de Souza Mauricio Almeida Noemberg		<b>Figura 5.1.166: Localização geográfica dos pontos de monitoramento dos níveis de ruídos.</b>		Escala 1:38.000

5.1.10.2. Níveis de ruído medidos

Com base na metodologia e normas já citadas, os resultados do diagnóstico de ruídos na área de influência direta são apresentados a seguir. As tabelas 5.1.27 a 5.1.30 mostram os resultados obtidos nas duas campanhas (noturna e diurna), com suas respectivas informações de local, data, horário, duração da amostragem e dos valores medidos. Foram feitas duas amostragens em cada ponto, com um intervalo de um minuto entre elas e duração também de um minuto.

**Tabela 5.1.27: Primeira Campanha de Medição –primeira amostragem**

Ponto	Local	Aparelho	Data	Hora	Escala (dB)	Duração (min)	L <sub>máx</sub>	L <sub>mín</sub>	L <sub>eq</sub>
1	Portão de entrada do TCPP	Minipa MSL 1325	18/3/07	18:15	32-80	1	45,8	40	41,6
2	Portão de indústria abandonada	Minipa MSL 1325	18/3/07	18:23	32-80	1	39,6	33,1	36,5
3	Ponto de ônibus	Minipa MSL 1325	18/3/07	18:30	32-80	1	69,3	46,5	60,8
4	Escola	Minipa MSL 1325	18/3/07	18:42	32-80	1	71,3	40,3	61,7
5	Trevo de entrada. Via de acesso ao TCPP	Minipa MSL 1325	18/3/07	18:50	50-100	1	66,9	55	61,4

**Tabela 5.1.28: Primeira Campanha de Medição – segunda amostragem**

Ponto	Local	Aparelho	Data	Hora	Escala (dB)	Duração (min)	L <sub>máx</sub>	L <sub>mín</sub>	L <sub>eq</sub>
1	Portão de entrada do TCPP	Minipa MSL 1325	18/3/07	18:17	32-80	1	41,3	39	40,4
2	Portão de indústria abandonada	Minipa MSL 1325	18/3/07	18:25	32-80	1	36,3	33,3	34,5
3	Ponto de ônibus	Minipa MSL 1325	18/3/07	18:32	32-80	1	72,2	44,3	65,3
4	Escola	Minipa MSL 1325	18/3/07	18:44	32-80	1	56,4	41,6	47,9
5	Trevo de entrada. Via de acesso ao TCPP	Minipa MSL 1325	18/3/07	18:52	50-100	1	74,6	62,9	70,5

Handwritten signatures and initials on the right margin of the page, including names like 'H. H.', 'J. J.', 'R. S.', and others.

**Tabela 5.1.29: Segunda Campanha de Medição – primeira amostragem**

Ponto	Local	Aparelho	Data	Hora	Escala (dB)	Duração (min)	L <sub>máx</sub>	L <sub>mín</sub>	L <sub>eq</sub>
1	Portão de entrada do TCPP	Minipa MSL 1325	19/3/07	11:20	32-80	1	65,8	41,5	57,5
2	Portão de indústria abandonada	Minipa MSL 1325	19/3/07	11:32	32-80	1	62,6	28,9	52,3
3	Ponto de ônibus	Minipa MSL 1325	19/3/07	11:50	32-80	1	63	47,3	56,7
4	Escola	Minipa MSL 1325	19/3/07	11:45	32-80	1	67,6	48,3	60,4
5	Trevo de entrada. Via de acesso ao TCPP	Minipa MSL 1325	19/3/07	11:59	32-80	1	68,6	40,8	59,5
6	Centro do píer do TCPP	Minipa MSL 1325	19/3/07	10:38	32-80	1	41	34,2	36,3
7	Praia - esquerda ao píer do TCPP	Minipa MSL 1325	19/3/07	10:42	32-80	1	65	48,3	59,3
8	Mata. Entrando 50m da costa ao lado do píer,	Minipa MSL 1325	19/3/07	11:00	32-80	1	35,5	30,8	32,0
9	Em frente à casa amarela - TCPP	Minipa MSL 1325	19/3/07	11:13	32-80	1	56,3	35,3	50,9

**Tabela 5.1.30: Segunda Campanha de Medição – segunda amostragem**

Ponto	Local	Aparelho	Data	Hora	Escala (dB)	Duração (min)	L <sub>máx</sub>	L <sub>mín</sub>	L <sub>eq</sub>
1	Portão de entrada do TCPP	Minipa MSL 1325	19/3/07	11:22	32-80	1	47,6	39,4	41,7
2	Portão de indústria abandonada	Minipa MSL 1325	19/3/07	11:34	32-80	1	59,3	32,2	52,1
3	Ponto de ônibus	Minipa MSL 1325	19/3/07	11:52	32-80	1	58,7	46,3	52,3
4	Escola	Minipa MSL 1325	19/3/07	11:47	32-80	1	55,9	41,9	48,7
5	Trevo de entrada. Via de acesso ao TCPP	Minipa MSL 1325	19/3/07	12:01	32-80	1	67,6	40,2	59,4
6	Centro do píer do TCPP	Minipa MSL 1325	19/3/07	10:40	32-80	1	40,2	34,3	35,4
7	Praia - esquerda ao píer do TCPP	Minipa MSL 1325	19/3/07	10:44	32-80	1	55,7	43,2	50,8
8	Mata. Entrando 100m da costa ao lado do píer,	Minipa MSL 1325	19/3/07	11:02	32-80	1	44,1	32,3	40,4
9	Em frente à casa amarela - TCPP	Minipa MSL 1325	19/3/07	11:15	32-80	1	66	40,6	59,1

As medições realizadas no dia 18/3/07 (Tabelas 5.1.27 e 5.1.28) representam um período noturno. Nas regiões de pouco trânsito, mais próximas ao empreendimento, os níveis de ruído situaram-se entre aproximadamente 35 e 40 dB(A). Ao se afastar da área do empreendimento, onde existe maior grau de urbanização e movimentação de veículos, os níveis de ruídos chegam a 70 dB(A).

As medições realizadas no dia 19/3/07 (Tabelas 5.1.29 e 5.1.30) representam monitoramento em período diurno. Nestes casos, o nível de ruído é da ordem de 52 a 57 dB(A) nas proximidades da área e de 60 dB(A) em áreas mais afastadas. Comparando-se os dois períodos de medição, tabelas 5.1.27 e 5.1.28 com 5.1.29 e 5.1.20, percebe-se que o  $L_{eq}$  aumenta em aproximadamente 15 dB(A) na área do porto mas diminui em torno de 10 dB(A) em áreas mais urbanas. A explicação para esta variação é que os níveis de ruídos dependem muito do tráfego rodoviário existente no caso da proximidade de vias mais movimentadas. Os finais de semana nos meses de verão possuem os dias de maior movimento nas cidades litorâneas. O caso de Pontal do Sul, balneário do município de Pontal do Paraná, não é diferente, apesar de o final do mês de março já não ser considerado alta temporada. Com base nisto, as medições foram feitas em período noturno de domingo (18/3/20, final de tarde, quando o fluxo de veículos tende a ser maior) e diurno de segunda-feira (19/3/20, quando o fluxo de carros é aquele considerado normal para um dia útil). Dessa forma, tornou-se possível a obtenção de dados significativos da região.

Analisando os resultados obtidos para as regiões um pouco mais afastadas do novo empreendimento, pontos 3, 4 e 5, observa-se que o final de semana apresenta níveis acústicos superiores ao de um dia útil, principalmente no ponto 5. Um dos motivos é o maior tráfego, além de outros, como carros com som alto (maior nível sonoro), música alta em bares e casas, e maior quantidade de pessoas se divertindo nos arredores dos pontos monitorados.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabelece o valor de 55 dB(A) como o valor limítrofe para um período de 16 h, nível sonoro este que pode determinar o aparecimento de desconforto com a classificação forte desconforto. Para um nível de 50 dB(A) para um período de 16 h a classificação da Organização Mundial da Saúde é de desconforto moderado.

Dessa forma, com base nesses valores da OMS, pode-se dizer que o local dos pontos apresenta alguns períodos descontínuos com níveis de ruído acima do recomendado para o conforto acústico, especialmente em dias e horários de movimento mais intenso para esta região litorânea.

O ponto situado em frente à escola (ponto 4) não apresentou grande variação entre os dois dias de monitoramento, sendo observadas variação de curto período, geralmente causada pela passagem de veículo de transporte urbano e carros de passeio. O nível sonoro ainda aumentado devido à presença de redutores de velocidade, em local próximo do instituto de ensino.

Considerações específicas para cada uma das medições, tais como tipos de ruído durante a medição, são apresentadas no Anexo 5.1-IV.



### 5.1.11. Qualidade do ar

#### 5.1.11.1. Introdução

Os impactos sobre a qualidade do ar de atividades portuárias dependem muito das características do terminal e dos tipos de cargas a que o porto se destina. A emissão de substâncias nocivas à saúde e ao meio ambiente ocorre tanto na etapa de construção quanto na de operação de um porto.

Na etapa de construção, a principal substância emitida para a atmosfera é o material particulado originado nas atividades relacionadas às obras, tais como serviços de terraplenagem, remoção e transporte de material fragmentado (solo, areia e brita, por exemplo), circulação de veículos (principalmente em vias não pavimentadas), entre outros. Além do material particulado, existem ainda alguns gases que são lançados em menores quantidades, provenientes da queima de combustíveis dos veículos e máquinas que estarão funcionando em função da construção do terminal.

Durante a operação de um porto as fontes de poluição também são diversas, havendo emissões na queima de combustíveis dos navios e da frota de veículos que trafegam na região em função do transporte rodoviário que atende ao porto, principalmente quando existe circulação em trechos de vias não pavimentadas, e no manuseio de materiais fragmentados. A qualidade do ar em regiões portuárias sofre ainda os impactos secundários, devido à urbanização e crescimento da frota veicular em toda a região (Gupta *et al.* 2005).

Como o presente estudo trata de um porto especializado no transporte de contêineres, o manuseio de material fragmentado na operação do porto é bastante reduzido, ao contrário do que acontece em casos de portos dedicados ao transporte de grãos (milho, soja, etc.), fertilizantes, etc., como no caso do porto de Paranaguá. Este tipo de porto gera ainda maior atividade industrial no seu entorno, o que significa mais fontes de emissão (Engemin 2004).

#### 5.1.11.2. A qualidade do ar na região do Porto Pontal

Como abordado no item 5.1.1.10, este diagnóstico é feito com base no monitoramento de material particulado em área urbana dentro da área de influência e que pode, portanto, ser afetada pela poluição gerada na construção e operação do porto. Além disso, utilizam-se informações de diversas referências bibliográficas específicas sobre poluição atmosférica em portos e regiões litorâneas.

De forma quantitativa, a condição atual da qualidade do ar de outras substâncias, além do material particulado, é obtida na seção de avaliação de impactos, por meio de um modelo de dispersão de poluentes, possibilitando avaliar qual o grau de degradação atual e futuro do entorno da região do porto. Neste caso, com base em dados das emissões para cada cenário e das condições de dispersão, que são influenciadas pela topografia e meteorologia, calcula-se a distribuição de concentração resultante das emissões e condições de dispersão para toda a área afetada pelas diversas fontes de poluição contempladas nas simulações, através da aplicação do modelo computacional de dispersão de poluentes. A utilização desta ferramenta está prevista na legislação paranaense, que diz: “A verificação do atendimento aos padrões de qualidade do ar



deverá ser efetuada pelo monitoramento dos poluentes na atmosfera ou, na ausência de medições, pela utilização de modelos matemáticos de dispersão atmosférica” (Lei 13.806/02, Art. 14). Entretanto, como esta é também a metodologia utilizada para a avaliação de impactos, os resultados do cenário atual serão descritos em seções futuras.

Uma característica típica da atmosfera em regiões litorâneas é a presença de substâncias originadas naturalmente, principalmente pela proximidade do oceano. Dentre essas substâncias estão os aerossóis marinhos, que constituem a concentração natural de fundo (“background”) da região, cujos componentes (partículas) são detectados quando se mede PTS, com um Hi-vol, por exemplo. Esses aerossóis podem causar danos em materiais, como corrosão em estruturas metálicas, deterioração de concreto, ressecamento de cabos elétricos, entre outros (Fang *et al.* 2006, Alberti *et al.* 2005).

No caso de regiões portuárias ou litorâneas com pouca ou nenhuma atividade industrial, as fontes naturais de material particulado são as mais importantes, devido às emissões de sais marinhos pelo oceano, suspensão de partículas por ação do vento (minúsculos grãos de areia, por exemplo), pólen, etc. Já para os gases SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO e COV, as principais fontes são antropogênicas, principalmente pela queima de combustíveis nos veículos e navios. Estes gases podem se transformar na atmosfera gerando os poluentes secundários, como o O<sub>3</sub> e componentes da chuva ácida (Fang *et al.* 2006, USACE/SCSPA 2005, Gupta *et al.* 2004, Bailey & Solomon 2004).

No mundo todo, os navios são responsáveis por 10-14% de NO<sub>x</sub> e 5% de SO<sub>x</sub> liberados pela queima de combustíveis fósseis. Os navios correspondem ainda por 7% de NO<sub>x</sub> e 6% de material particulado de todas as fontes móveis (carros, caminhões, tratores, trens, etc.) dos Estados Unidos, com expectativa de dobrar as emissões até 2020 (Gupta *et al.* 2005, Bailey & Solomon 2004). Na Europa, a contribuição da poluição por material particulado (PTS) dos navios fica entre 8 e 15% (Saxe & Larsen 2004).

Um outro estudo sobre a emissão de poluentes na região do porto Jawaharlal Nehru, na Índia, mostra que entre as três principais substâncias, a maior fração é de PTS (70%), seguido de NO<sub>x</sub> (26%) e de NO<sub>x</sub> (4%) (Gupta *et al.* 2002).

A região onde está prevista a construção do TCPP é próxima à entrada da baía por onde já circulam navios que acessam os portos de Paranaguá e Antonina. Existem também alguns aglomerados urbanos e verifica-se circulação de carros na região. Por isso, embora com pouca contribuição, já existem algumas fontes antropogênicas de emissão que podem afetar a sua região.

O monitoramento de PTS foi realizado conforme descrito anteriormente na seção de metodologias. Para as medições, utilizou-se um Amostrador de Grandes Volumes (Hi-vol). Para empreendimentos em operação com potenciais impactos sobre a qualidade do ar, a Resolução SEMA 054/06 exige que o monitoramento deve ser realizado através de quatro campanhas ao longo de um ano, com sete dias corridos cada. Para atender aos objetivos deste diagnóstico, que não se enquadra nos objetivos da Resolução, o monitoramento de PTS foi realizado durante uma única campanha de



sete dias consecutivos, com o Hi-vol operando durante 24 h/dia. A tabela 5.1.31 mostra os resultados das medições, com informações quanto à concentração de PTS e as observações meteorológicas durante a coleta dos filtros.

**Tabela 5.1.31: Resultados do monitoramento da qualidade do ar.**

Dia	Data	Concentração ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Umidade Relativa (%)	Vento	Precipitação nas últimas 24 h
1	28-29/04/07 Sab/Dom	30,1	22	79	Moderado	Fraca e curta (noite)
2	29-30/04/07 Dom/Seg	42,3	24	80	Moderado	Não houve
3	30-01/05/07 Seg/Ter	32,3	27	71	Moderado	Fraca e curta (noite)
4	01-02/05/07 Ter/Qua	33,4	26	84	Fraco	Fraca e curta (noite)
5	02-03/05/07 Qua/Qui	42,0	25	80	Moderado	Não houve
6	03-04/05/07 Qui/Sex	24,7	24	84	Moderado	Fraca e longa (dia)
7	04-05/05/07 Sex/Sab	61,3*	23	80	Forte	Não houve
Média		34,2*	25	80		

\* Problemas durante a coleta do filtro (confirmado pelo alto valor); desconsiderado na média.

Embora a estação tenha sido instalada a 12 m de altura do solo, as emissões originadas pela circulação de veículos na via não pavimentada nas proximidades do local de medição podem interferir nas concentrações medidas devido ao tráfego. Por isso, salienta-se que a campanha foi realizada durante uma semana em que houve um feriado nacional (01 de Maio), situação em que há maior circulação de veículos e conseqüentemente mais poluição. Os trabalhos de campo e as anotações que estão na tabela 5.1.31 mostram que a areia desta via estava bastante úmida, devido às chuvas que ocorreram nos dias antecedentes às medições e também durante elas. Isto favorece na redução da suspensão de partículas pela circulação de veículos. Como não existem outras atividades humanas com fontes significativas, conclui-se que a maior parte das partículas detectadas nas medições são provenientes dos aerossóis marítimos, já que a estação foi instalada muito próxima ao mar, além da suspensão de partículas (como a areia), por ação do vento. A brisa marítima foi verificada em todos os dias, confirmando o transporte desses aerossóis em direção ao ponto de medição.

A tabela 5.1.31 mostra que as concentrações são, em média, da ordem de  $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Este valor está bem abaixo do limite de 24 h, que é de  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  no padrão primário ou de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , no caso de padrão secundário. Embora seja uma campanha muito curta para fins de verificação da média anual, que tem como padrão primário  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e como secundário  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , supondo-se que este valor de  $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$  seja representativo para a média anual, mesmo assim os valores estariam abaixo destes limites estabelecidos pela legislação. Neste caso, o valor seria em torno de 42% do padrão primário, o que significa uma concentração considerável, dado que se trata de uma região sem atividade antropogênica representativa (como indústrias). Percebe-se também pelos resultados apresentados que os dias em que houve chuva, mesmo que

Handwritten signatures and initials on the right margin of the page.

durante poucas horas e de baixa intensidade, as concentrações medidas são menores: para os dias em que houve chuva no período noturno, fraca e de curta duração, a concentração é da ordem de  $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; no caso do dia em que choveu durante o dia, por mais tempo, a concentração é de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; nos dias em que não houve chuva, a concentração é maior, em torno de  $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

A avaliação de impactos utilizará estes valores como “concentração de fundo”, ou seja, uma concentração pré-existente no local, antes da instalação do novo empreendimento.


### 5.1.12. Referências bibliográficas

- Abrahão R. L. B. E. 2000. *Variabilidade diária de zooplâncton e de descritores ambientais no setor euhalino da Baía de Paranaguá no verão e inverno de 1996*. Dissertação de Mestrado, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, 65p.
- Abreu P. C., Hartmann C., Odebrecht C. 1995. Nutrient-rich Saltwater and its Influence on the Phytoplankton of the Patos Lagoon Estuary, Southern Brazil. *Est. Coast. and Shelf Sci.*, **40**:219-229.
- APHA – American Public Health Association. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th ed. Washington, D. C.
- Alberti S. M., Souza G. P., Munaro M., Kenny E. D., Esmanhoto E., Linero L. E., Harttman L. C., Novaes Junior J. V., Luz G. M. 2005. Avaliação dos Impactos da Poluição Atmosférica correlacionada à Manutenção de Estruturas utilizadas no Setor Elétrico. In: CINETEL – Congresso de Inovação tecnológica no setor elétrico, Florianópolis, 7p.
- Almeida F. F. M. de. 1976. The system of continental rifts bordering the Santos basin. Brasil. *Anais Acad. Bras. Cien*, Rio de Janeiro, n. 48 (supl.). p.15-26.
- Almeida F. F. M. de. 1982. Síntese sobre a tectônica da Bacia do Paraná. In: SIMP. REG. GEOL., 3. Curitiba, 1982. *Atas...* Curitiba, SBG. p.1-20.
- FUNPAR – Fundação da Universidade Federal do Paraná. 1997. *Estudo de Impacto Ambiental (EIA) de Uma Usina Termelétrica Na Baía de Paranaguá e do Porto de Desembarque, Subestação e Linha de Transmissão Associados*. FUNPAR, 260 p. 3 volumes.
- Angulo R. J. 1992. *Geologia da planície costeira do Estado do Paraná*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 334p.
- Angulo R. J. 1993. Morfologia e gênese das dunas frontais do litoral do Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, **23**(1):68-80.
- Angulo, R.J. 1995. Feições deposicionais associadas às desembocaduras dos complexos estuarinos da costa paranaense. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos Quaternário, 5, Niterói. *Resumos expandidos...* Niterói, ABEQUA, p.58-64.
- Angulo R. J. 1999. Morphological characterization of the tidal deltas on the coast of the State of Paraná. *Anais Academia Brasileira de Ciências*, São Paulo, **71**(4-II):935-959.
- Angulo R. J. 2004. Mapa do Cenozóico do litoral do Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, Curitiba, **55**:25-42 (CD-ROM com mapas).

- Angulo R.J., Suguio K. 1995. Re-evaluation of the maxima of the Holocene sea-level curve for the State of Paraná, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Amsterdam. **112**:385-393
- Angulo R. J., Lessa G. C. 1997. The Brazilian sea level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananéia regions. *Marine Geology*, Amsterdam, **140**:141-166.
- Araújo A. D., Lessa G. C. 1996. Nível médio do mar e estruturas praias: uma contribuição ao estudo paleogeográfico da planície costeira Paranaense. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39, Salvador. *Anais...* SBG, Salvador, **5**:237-240
- Angulo R. J., Soares C. R., Marone E., Souza M. C., Odreski L. L. R., Noernberg M. A. 2006a. Paraná. In Muehe D. (org.) *Erosão e progradação do litoral brasileiro*, MMA, Brasília, 349-400.
- Angulo R. J., Lessa G. C., Souza M. C. 2006b. A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*, London, **25**:486-506.
- Angulo R. J., Souza M. C., Lamour M. R. 2006c. Coastal erosion problems induced by dredging activities in navigation channels of Paranaguá and São Francisco harbor, southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, Proceedings of the 8th International Coastal Symposium, Itajaí, SC, SI39:1801-1803.
- Babu D. S., Hindi.E. C., Rosa Filho E. F., Bittencourt A. V. L. 2002. Characteristics of Valadares Island aquifer, Paranaguá coastal plain, Brazil. *Environmental Geology*, **41**(8):954-959
- Bailey D., Solomon G. 2004. Pollution prevention at ports: clearing the air. *Environmental Impact Assessment Review*, **24**:749-774.
- Bandeira J. V. 1974. *Estudo estatístico das ondas ao largo da Baía de Paranaguá*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 81p.
- Barreto F. B. 2006. *Modelagem Hidrodinâmica e de Deposição de Sedimento Dragado na Baía de Antonina*. Projeto de Conclusão do Curso de Engenharia Ambiental, UFPR, Curitiba.
- Beardsley R. C., Boicourt W. C. 1981. On estuarine and continental-shelf circulation in the Middle Atlantic Bight. In: Warren B. A., Wunsch C. (editors): *Evolution of Physical Oceanography*. The MIT Press, Cambridge, Mass. pp. 198-233.
- Bícego M. C., Taniguchi S., Yogui G. T., Montone R. C., Silva D. A. M., Lourenço R. A., Martins C. C., Sasaki S. T., Pellizari V. H., Weber R. R. 2006. Assessment of contamination by polychlorinated biphenyls and aliphatic and aromatic hydrocarbons in sediments of the Santos and São Vicente Estuary System, São Paulo, Brazil. *Mar. Pollut. Bull.*, **52**:1784-1832.



- Bierman Jr. V. J., Hinz S. C., Zhu Dong-Wei, Wiseman W. J., Jr., Rabalais, N. N., Turner R. E. 1994. A preliminary mass balance model of primary productivity and dissolved oxygen in the Mississippi River plume/Inner Gulf Shelf region. *Estuaries*, **17**(4):886-899.
- Bigarella J. J. 1946. Contribuição ao estudo da planície litorânea do Estado do Paraná. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, Curitiba, **1**:75-11.
- Bigarella J.J. 1971. Variações climáticas no Quaternário Superior do Brasil e sua datação radiométrica pelo método do Carbono 14. *Paleoclimas Inst. Geogr. USP*, São Paulo, (1):1-22.
- Bigarella J. J., Becker R. D., Matos D. J., Werner A. 1978. *A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná*. Curitiba, Secretaria de Estado do Planejamento, Governo do Paraná. 248p.
- Bigarella J. J., Alessi A. H., Becker R. D., Duarte G. M. 1970. Natureza dos sedimentos de fundo das baías de Paranaguá e Antonina (1). *Rev. Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas*, Curitiba, PR, Brasil, **15**:30-33.
- Bigarella J.J., Doubek R. 1963. *Folha geológica de Paranaguá (Estado do Paraná)*. Curitiba, Univ. Paraná. Escala 1:50.000.
- Bigarella J. J., Freire S. S., Salamuni R., Viana R. 1966. Contribuição ao estudo dos sedimentos praias recentes, II Praias de Matinhos e Caiobá. *Boletim da Universidade Federal do Paraná de Geografia Física*, Curitiba, n.6. 109 p.
- Bigarella J. J., Alessi A. H., Becker R. D., Duarte G. K. 1969a. Textural characteristics of the coastal dune, sand ridge and beach sediments. *Boletim Paranaense de Geociências*, Curitiba, **27**:15-80.
- Bigarella J.J., Duarte M.G., Becker R.D. 1970/71. Structural characteristics of the dune, foredune, interdune, beach, beach-dune ridge and sand ridge deposits. *Bol. Par. Geoc.*, Curitiba, **28-29**:9-72.
- Bigarella J.J., Doubek A., Salamuni R. 1957. Planta geológica provisória da baía de Guaratuba. *Bol. Univ. Par. Geol.*, Curitiba, **8**:1-6.
- Bigarella J.J., Sanches J. 1966. Contribuição ao estudo dos sedimentos praias recentes. V - Praia suspensa do saco do Tambarutaca, Município de Paranaguá-PR. *Bol. Par. Geogr.*, Curitiba, n.18 a 20. p.151-175.
- Blumberg A. F., Mellor G. L. 1983. Diagnostic and Prognostic Numerical Circulation Studies of the South Atlantic Bight. *J. Geophys. Res.*, **88**:4579-4592.
- Blumberg A. F., Mellor G. L. 1987. A Description of a Three Dimensional Coastal Ocean Model. In: *Three Dimensional Coastal Ocean Models*. Heaps N. (Ed.), American Geophys Union 1-16.
- Brandini F. P., Thamm C. A. 1994. Variações diárias e sazonais do fitoplâncton e parâmetros ambientais na Baía de Paranaguá. *Nerítica*, **8**(1 e 2):55-72.





- Cheng N. S. 1997. Simplified Settling Velocity Formula for Sediment Particle, ASCE, *J. Hydr. Engr.*, **123**:149-152.
- Corrêa F. 2004. *Variabilidade espacial e temporal de bactérias na Gamboa do Maciel, Paraná, ao longo de um ciclo diurno de maré*. Trabalho de Conclusão de Curso, Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, 21p.
- Cotovicz Jr L. C. 2006. *Dinâmica Geoquímica do Fósforo (P) nos Sedimentos Recentes da Baía de Guaratuba, Paraná*. Monografia de final de curso, Oceanografia, CEM/CT/UFPR, 106 p.
- Day Jr. J. W., Hall C. A. S., Kemp W. M., Yañez-Arancibias A. 1989. *Estuarine Ecology*. John Wiley & Sons, inc, New York, 558 p.
- Deuser W. G., Ross E. H., Mlodzinska Z. J. 1978. Evidence and rate of denitrification in the Arabian Sea. *Deep-Sea Res.*, **25**(5):431-445.
- Durov S. A. 1948. Natural waters and graphic representation of their composition. *Dokl. Akad. Nauk.* **59**:87-90
- EMBRAPA/IAPAR.1977. *Levantamento de reconhecimento de solos do Litoral do Estado do Paraná (área 11) Informe Preliminar*. Bol. Tecn. 54 do SLNCS e Bol. Tecn. 09 do Projeto de solos. 130 p.
- Engemin. 2004. Estudo de Impacto Ambiental das Obras de Modernização da Estrutura Portuária da Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina, p. 4.14-4.17.
- Fang G-C., Wu Y-S., Chen J-C., Rau J-Y., Huang S-H., Lin C-K. 2006. Concentration of ambient air particulates (TSP, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>2.5-10</sub>) and ionic species at offshore areas near Taiwan Strait. *Journal of Hazardous Materials B* **132**: 269-276.
- Fofonoff N.P. 1962. Physical properties of sea-water. In: Hill M.N. (Editor). *The Sea*. Interscience Publishers, Wiley, New York, London, p. 3-30.
- Fortescue J. A. C. 1989. *Environmental Geochemistry: A Holistic Approach*. Springer-Verlag New York Inc.
- Fuck R.A., Trein E., Muratori A., Rivereau J.C. 1969. Mapa geológico preliminar de litoral, da Serra do Mar e parte do Primeiro Planalto no Estado do Paraná. *Bol. Par. Geoc.*, Curitiba, **27**:123-152.
- Galperin B., Kantha L.H., Hassid S., Rosati A. 1988. A Quasi-equilibrium Turbulent Energy Model for Geophysical Flows. *J. Atmosph. Sci.*, **45**:55-62.
- Garcia M., Parker G. 1991. Entrainment of bed sediment into suspension. *Journal of Hydraulic Engineering*, **117**(4):414-435.
- Garcia-Soto C., Madariaga I., De Villate F., Orive E. 1990. Day-to-day variability in the plankton community of a coastal shallow embayment in response to changes in river runoff and water turbulence. *Estuar.-Coast.-Shelf-Sci.*, **31**(3):217-229.





- Hattori A. 1983. Denitrification and dissimilatory nitrate reduction. In: Carpenter E. J., Capone D. G. (Eds). *Nitrogen in the Marine Environment*, Academic Press, N. Y., p. 191-232.
- Hidropel - Hidrogeologia e Perfurações Ltda. 1997. Cadastro de Poços Tubulares.
- Hindi E. C., Rosa Filho E. R., Bittencourt A. V. L., Montañó J. X. 2003. Características hidrogeológicas do aquífero costeiro da Ilha dos Valadares, PR (Brasil) e sua utilização para abastecimento público. *Revista Latino-Americana de Hidrogeologia*, Curitiba, **3**:19-3.
- IAPAR - Instituto Agrônomo do Paraná. 1994. Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná. Londrina, 38p.
- IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. 1989. Zoneamento do litoral paranaense. Convênio SEPL/IPARDES, Curitiba, PR. 175p.
- IPqM. 1969. Estudo das correntes na Baía de Paranaguá. Arq. da Admin. do Porto de Paranaguá (PR, Brasil).
- ITCF - Instituto de Terras Cartografia e Florestas. 1990. *Atlas do Estado do Paraná*. Escala 1:500.000. Curitiba.
- Kjerfve B., Proehl J. A., Schwing F. B., Seim H. E., Marozas M. 1982. Temporal and spatial considerations in measuring estuarine water fluxes. In: Kennedy V.S. (Ed.). *Estuarine comparisons*. Academic Press, New York, p: 37-51.
- Klump J. V., Martens C. S. 1983. Benthic nitrogen regeneration. In: Carpenter E. J., Capone D. G. (Eds). *Nitrogen in the Marine Environment*, Academic Press, London, p. 411-457.
- Knoppers B. A., Brandini F. P., Thamm C. A. 1987. Ecological studies in the Bay of Paranaguá. II. Some physical and chemical characteristics. *Nerítica*, **2**(1):1-36.
- Knoppers B. A., Carmouze J. P., Moreira-Turcq P. F. 1999. Nutrient dynamics, primary production and eutrophication of coastal lagoons of the eastern Rio de Janeiro coast. In: Knoppers B., Bidone E., Abrão J. J. (Org.). *Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems, State of Rio de Janeiro, Brazil*. Niterói: Universidade Federal Fluminense, p 100-132.
- Kolm H. E. (Coord.). 2002a. Avaliação dos impactos decorrentes da construção de um píer pela FOSPAR – Fertilizantes Fosfatados do Paraná S.A. Pontal do Paraná: UFPR/CEM/FOSPAR. 184 p. Relatório Técnico, inédito.
- Kolm H. E., Schoenenberger M. F., Piemonte M. R., Souza P. S. A., Scühli G. S. E., Mucciato M. B., Mazzuco R. 2002. Spatial Variation of Bacteria in Surface Waters of Paranaguá and Antonina Bays, Paraná, Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, **45**(1):27-34.



- Kolm H. E., Andretta L. 2003. Bacterioplankton in different tides of the Perequê tidal creek, Pontal do Sul, Paraná, Brasil. *Brazilian Journal of Microbiology*, **34**(2): 97-103.
- Krelling A. P. 2004. *Caracterização Sócio-ambiental da Ponta do Poço-Pontal do Paraná-Pr*. Monografia de final curso, Oceanografia, CEM/CT/UFPR, 46 p.
- Lamour M. R. 2000. *Dinâmica sedimentar de Canal da Galheta, via de acesso ao porto de Paranaguá - PR*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 100p.
- Lamour M. R. 2007. *Morfodinâmica sedimentar da desembocadura do complexo estuarino de Paranaguá – PR*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 162p.
- Lamour M. R., Soares C. R., Carrilho J. C. 2004. Mapas de parâmetros texturais de sedimentos de fundo do Complexo Estuarino de Paranaguá – PR. *Boletim Paranaense de Geociências*, **55**: 77-82.
- Lana P. C., Marone E., Lopes R. M., Machado E. C. 2000. The subtropical estuarine complex of Paranaguá Bay. In: Seeliger U., Kjerfve B. (Org.). *Coastal Marine Ecosystems of Latin America*. Berlin: Springer Verlag, **144**:132-145.
- Lana P. C., Guiss C. 1991. Influence of *Spartina alterniflora* on the structure and temporal variability of macrobenthic associations in a tidal flat of Paranaguá Bay (Se Brazil). *Marine Ecology Prog Ser.*, **73**:231-244.
- Lessa G. C., Meyers S. D., Marone E. 1998. A sedimentary facies model for the Paranaguá Bay Estuary. *Journal of Sedimentary Research*, **68**(6):1060-1076.
- Lessa G. C., Angulo R. J., Giannini P. C. F., Araújo A. D. 2000. Stratigraphy and Holocene evolution of a regressive barrier in south Brazil. *Marine Geology*, Amsterdam, **165**(1-4):87-108.
- Machado E. C., Daniel C. B., Brandini N., Queiroz R. L. V. 1997. Temporal and spatial dynamics of nutrients and particulate suspended matter in Paranaguá Bay, Pr, Brazil. *Nerítica*, Curitiba, **11**:15 – 34.
- Mackenzie L. D., Cornwell D. A. 1998. *Introduction to Environmental Engineering*. 3<sup>rd</sup> Ed, McGraw-Hill in Water Resources and Environmental Engineering, 919p.
- MacIntyre S., Lick W., Tsai C.H. 1990. Variability of Entrainment of Cohesive Sediments in Freshwater. *Biogeochemistry*, **9**:187-209.
- Mallin M. A. 1994. Phytoplankton ecology of North Carolina estuaries. *Estuaries* **17**(3):561-574.
- Mantovanelli A. 1999. *Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em suspensão na baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia Ambiental, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, 152 p.

Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like 'H. E. Kolm', 'A. P. Krelling', 'M. R. Lamour', 'C. R. Soares', 'J. C. Carrilho', 'P. C. Lana', 'E. C. Machado', 'S. D. Meyers', 'G. C. Lessa', 'R. J. Angulo', 'P. C. F. Giannini', 'A. D. Araújo', 'E. C. Machado', 'C. B. Daniel', 'N. Brandini', 'R. L. V. Queiroz', 'L. D. Mackenzie', 'D. A. Cornwell', 'S. MacIntyre', 'W. Lick', 'C. H. Tsai', 'M. A. Mallin', and 'A. Mantovanelli'.

- Mantovanelli A., Marone E., Silva E. T., Lautert L. F. C., Klingenfuss M. S., Prata Jr V. P., Noernberg M. A., Knoppers B. A., Angulo R. J. 2004. Combined tidal velocity and duration asymmetries as a determinant of water transport and residual flow in Paranaguá Bay Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **59**:523-537.
- Marone E., Camargo R. 1994. Marés Meteorológicas no litoral do estado do Paraná: o evento de 18 de agosto de 1993. *Nerítica*, Curitiba, **8**(1-2):73-85.
- Marone E., Mantovanelli A., Kingenfuss M. S., Lautert L. F., Prata Jr. V. P., Noernberg M. A. 2002. Transport of water, salt, heat and suspended particulate matter during a spring tide event at Perequê tidal creek, southern Brazil (Submitted).
- Marone E., Guimarães M. R. F., Camargo R., Prata Jr V. P., Klingenfuss M. S. 1995. Caracterização física das condições oceanográficas, meteorológicas e costeiras das zonas estuarinas da Baía de Paranaguá. In: 6 Congresso Latino Americano de Ciências do Mar, Mar del Plata, Argentina.
- Marone E., Jamiyanaa D. 1997. Tidal characteristics and a numerical model for the M2 tide at the estuarine complex of the Bay of Paranaguá, Paraná, Brazil. *Nerítica*, Curitiba, **11**:95-107.
- Marques P. H. C. 2004. *Integração entre Ecologia de Bacias Hidrográficas e Educação Ambiental para a conservação dos rios da Serra do Mar no Estado do Paraná*. Tese de Doutorado, Programa de pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais da UFSCar, 189 p.
- Martin L., Suguio K. 1986. Excursion route along the coastal plains of states of Paraná and Santa Catarina. In: Intern. Symp. Sea-level changes and Quaternary shorelines. São Paulo, 1986. *Special Publ...* São Paulo, INQUA. (1):39-124.
- Martin L., Suguio K., Flexor J. M., Azevedo A. E. G. 1988. Mapa geológico do Quaternário costeiro dos Estados do Paraná e Santa Catarina. Série Geológica DNPM. Brasília, n. 28, 40 p, 2 map.
- Martins C. C. 2005. *Marcadores orgânicos geoquímicos em testemunhos de sedimento do Sistema Estuarino de Santos e São Vicente, SP: um registro histórico da introdução de hidrocarbonetos no ambiente marinho*. Tese de Doutorado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 215p.
- Mellor G. L., Yamada T. 1982. Development of a Turbulence Closure Model for Geophysical Fluid Problems. *Rev. Geophys. Space Phys.*, **20**:851-875.
- Mellor G. L. 1973. Analytic prediction of the properties of stratified planetary surface layers. *J. Atmos. Sci.*, **30**:1061-1069
- Mellor G. L., Blunberg A. F. 1985. Modeling Vertical and Horizontal Viscosity in a Sigma Coordinate System. *Mon. Wea. Rev.*, **113**:1379-1383.
- Mellor G. L., Yamada T. 1974. A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers. *J. Atmos. Sci.*, **31**:1791-1806

Handwritten signatures and initials on the right margin, including names like 'H. Young', 'R. S.', 'Mellor', 'J.', 'Yamada', and others.

- Mineropar - Minerais do Paraná S.A. 1989. *Mapa geológico do Estado do Paraná*. Brasília. Dep. Nac. Prod. Min. (DNPM). Escala 1:650.000.
- Mizerkowski B. D., Machado E. C. 2005. Análise comparativa da qualidade de água em dois gradientes com diferentes níveis de impactos antrópicos no complexo estuarino da Baía de Paranaguá, sudeste do Brasil. In: XI Congresso Latinoamericano de Ciencias del Mar, 2005, Viña del Mar. Livro de Resúmenes.
- Nixon S. W., Pilson M. E. Q. 1983. Nitrogen in estuarine and coastal marine ecosystems. In: Carpenter E., Capone D. (Eds). *Nitrogen in the Marine Environment*. Academic Press, London, p. 411-457.
- Nixon S. W. 1981. Remineralization and nutrient cycling in coastal marine ecosystems. In: Neilson B. J., Cronin L. E. (Eds.). *Estuaries and Nutrients*. Humana Press, Clifton, New Jersey, p. 111-138.
- Noernberg M. A. 2001. *Processos morfodinâmicos no complexo estuarino de Paranaguá - Paraná - Brasil: um estudo a partir de dados in situ e Landsat-TM*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geologia, UFPR, 153p.
- Noernberg M. A., Marone E., Martins G. J., Quadros C. L., Lautert L. F. C., Netto Jr. J. P. B. 2005. Variação espacial de parâmetros ambientais da água no complexo estuarino de Paranaguá Brasil. In: II Congresso Brasileiro de Oceanografia, Anais... Vitória.
- Notar M., Leskovsek H., Faganeli J. 2001. Composition, distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of the Gulf of Trieste, Northern Adriatic Sea. *Mar. Pollut. Bull.*, **42**:36-44.
- Nowicki I. L. 2006. *Bacterioplâncton e sua inter-relação com fatores físico-químicos em um transecto de uma gamboa do Complexo Estuarino de Paranaguá, Paraná, Brasil*. Trabalho de Conclusão de Curso, Oceanografia, Universidade Federal do Paraná, 47p.
- Odreski L. L. R. 2002. *Evolução sedimentar e batimétrica da Baía de Antonina – PR*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 79 p.
- Pontal do Paraná. 2007. *Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado de Pontal do Paraná (PDDI)*. Pontal do Paraná: Prefeitura Municipal Disponível em <http://www.pontaldoparana.pr.gov.br/>
- Portobras - Empresa de Portos do Brasil. 1983. *Campanha de medições de ondas em Paranaguá - PR*. Período 21/08/1982 a 21/01/1983. Rio de Janeiro. INPH Div. Lev. (DIDELE). 23 p.
- Pró-Atlântica. 2002. *Mapeamento da Floresta Atlântica do Estado do Paraná*. Relatório técnico do Convênio SEMA – Cooperação Financeira Brasil/ Alemanha KFW – Programa Pró Atlântica – ENGEFOTO, Curitiba, 68 p.





- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 1995. In: Easton A. D., Clescerl L. S., Greenberg A. E. (eds), 19th ed. American Publish Health Association, Washington, 1269 p.
- Strickland J. I. H., Parsons T. R. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Fish. Res. Board. Can. Bull., Ottawa, 167 p
- Stumm W., Morgan J. 1981. *Aquatic Chemistry. An introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters*. Wiley -Interscience Publication & Sons. New York, 779p.
- Suguio K. 1973. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo. E. Blücher Ed. 317p.
- Tessler M.G., Suguio K. 1987. Características sedimentológicas da Formação Cananéia (Pleistoceno superior) na área Paranaguá-Antonina (Estado do Paraná, Brasil). *Assoc. Bras. Est. Quat.*, São Paulo, Publ. Avulsa n.º 2. p.43-54.
- Tsai C. H., Lick W. 1987. Resuspension of Sediments from Long Island Sound. *Wat. Sci. Tech.*, **21**(6/7):155-184.
- UNEP - United Environment Programme. 1991. *Determinations of petroleum hydrocarbons in sediments, reference methods for marine pollution studies*. 97p.
- USACE/SCSPA. 2005. Air Quality Report: EIS for the Proposed Marine Container Terminal at the CNC, Report (revised September 2005), 38 p
- van Rijn L. C. 1984. Sediment transport, part II: suspended load transport. *ASCE. J. Hydr. Engr.*, **110**(11):1613-1638.
- Van Rijn L. C. 1993. *Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas*, Aqua Publications, Amsterdam, the Netherlands.
- Veiga F. A., Angulo R. J., Marone E., Brandini F. P. 2004. Características sedimentológicas da plataforma continental interna rasa na porção central do litoral paranaense. *Boletim Paranaense de Geociências*, Curitiba, **55**:67-75 (CD-ROM com mapas).
- Wentworth C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, Amsterdam, **30**:377-392.
- Yunker M. B., Macdonald R. W., Vingarzan R., Mitchell R. H., Goyette D., Sylvestre S. 2002. PAHs in Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition. *Org. Geochem*, **33**:489-515.
- Zalán P.V., Oliveira J.A.B. 2005. Origin and structural evolution of the Cenozoic rift system of southeastern Brazil. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, **13**(2):269-300.
- Ziegler C. K., Nisbet B. S. 1994. Fine Gradient Sediment Transport in Pawtuxet River, Rhode Island. *ASCE J. Hyd. Engr.*, **120**(50):561-576.



Zimmerman A. R., Canuel E. A. 2000. A geochemical record of eutrophication and anoxia in Chesapeake Bay sediments: anthropogenic influence on organic matter composition. *Marine Chemistry*, **69**:117–137