



MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte
DPP – Diretoria de Planejamento e Pesquisa
Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias - INPH



INPH: 023/2022 - Rev.01
Código: Rio de Janeiro - 900/20

ANTEPROJETO DE DRAGAGEM

READEQUAÇÃO E AMPLIAÇÃO DO CANAL DE ACESSO AO TERMINAL DE CONTEINERES - TECON NO COMPLEXO PORTUÁRIO DO RIO DE JANEIRO/RJ



**Rio de Janeiro
Setembro/ 2022**

Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias - INPH
Rua General Gurjão, 166 - Caju - Rio de Janeiro - RJ - 20931-040



EQUIPE TÉCNICA

Coordenação Geral

Engº Domenico Accetta - Coordenador-Geral do INPH

Engº Paulo César da Silva Freire - Coordenador de Pesquisas

Equipe

Geol. Roberto Bianco

Engº Luís Pedro Franco Bicalho

Msc. Engª Berenice Mota Vargas



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	HISTÓRICO DE SERVIÇOS DE DRAGAGENS REALIZADOS NO PORTO.....	7
3	DADOS AMBIENTAIS	9
3.1	Maré e Níveis d'água.....	9
3.2	Correntes de Marés.....	13
3.3	Ventos	15
3.4	Ondas	15
3.5	Batimetria	15
4	DESCRIÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS.....	18
4.1	Modelo Hidrodinâmico - MIKE 21 FM HD	18
4.2	Modelo de Transporte de Sedimentos Finos em Suspensão - MIKE 21 PA.....	20
5	DADOS AMBIENTAIS UTILIZADOS NA MODELAGEM MATEMÁTICA	23
5.1	Batimetria	23
5.2	Níveis d'água.....	25
5.3	Ventos	26
6	MODELAGEM HIDRODINÂMICA.....	27
6.1	Parâmetros de Calibração	27
6.2	Resultados das Simulações	28
7	MODELAGEM DA PLUMA DE SEDIMENTOS.....	33
7.1	Área de Bota Fora (Área F)	33
7.2	Parâmetros Numéricos Utilizados	35
7.3	Resultados das Simulações	35
8	ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS EM ÁREAS DO PORTO	38



8.1	ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	38
8.2	ANÁLISE INTEGRADA DE DADOS.....	42
8.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
9	NAVIO TIPO DE PROJETO	51
10	DIMENSIONAMENTO DO CANAL DE ACESSO	52
11	QUANTIFICAÇÃO DOS VOLUMES A SEREM DRAGADOS	53
12	ESPECIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS A SEREM UTILIZADOS.....	54
12.1	DRAGA AUTOTRANSPORTADORA.....	54
12.2	DRAGA BACKHOE (retroescavadeira autopropulsada) + 2 BATELÕES DE CARGA AUTOPROPULSADOS	54
12.3	DERROCAGEM	54

ANEXOS:

1 INTRODUÇÃO

O projeto de dragagem de um canal de acesso pode ser considerado como um processo em quatro estágios:

- Projeto Conceitual
- Anteprojeto
- Projeto Básico
- Projeto Executivo

No Projeto Conceitual, as características gerais do canal proposto (largura, profundidade e alinhamento) são determinadas a partir das informações disponíveis, normalmente muito superficiais, servindo primordialmente como a manifestação de uma ideia ou conceito de empreendimento, que pode ou não vir a ser desenvolvido.

No Anteprojeto, tais características já são definidas a partir de dados técnicos pretéritos que estejam disponíveis e que subsidiem, ainda em caráter preliminar, os estudos de viabilidade.

A elaboração do Projeto Básico envolve, prioritariamente, além da utilização dos dados pretéritos disponíveis, a realização de estudos complementares, que objetivam oferecer um retrato mais completo e geral sobre a área pretendida ao empreendimento, inclusive no concernente a quantitativos orçamentários e de volumetria.

O Projeto Executivo representa o estágio mais elaborado e detalhado, envolvendo, caso necessário, o levantamento de dados físicos adicionais, com objetivos de oferecer o suporte técnico necessário à definição do plano de ataque e ao desenvolvimento operacional da obra como um todo.

O presente relatório reúne dados do acervo técnico do INPH sobre a região do complexo portuário do Rio de Janeiro, localizado na cidade do Rio de Janeiro/RJ, e propõe um projeto geométrico para a readequação e ampliação do canal de acesso ao cais do Tecon (Figura 1-1), situado na poligonal do Porto do Rio de Janeiro, incluindo uma bacia de manobras e berços de acostagem, e respectivo anteprojeto de dragagem para a viabilização do traçado.

2 HISTÓRICO DE SERVIÇOS DE DRAGAGENS REALIZADOS NO PORTO

Até 1973

De até 1967 a 1973 foram realizadas as dragagens segundo informações da Tabela 2-1, abaixo:

Tabela 2-1. Dragagens Executadas no Porto do Rio de Janeiro (Período: 1967 a 1973)

LOCAL	CABEÇOS	LARGURA	COTA	VOLUME	DRAGA	PERÍODO
Cais da Gamboa	100/152	250m	8.0m	684.277m ³	São Paulo	Abril a Setembro de 1967
Cais de S.Cristovão	185/214	250m	9.0	530.454m ³	São Paulo	Fevereiro de 1967 a julho de 1968
Cais de S.Cristovão	165/215	250m	9.0m	343.900m ³	Europa	Maió a Agosto de 1972
Caju	270/FIM	200m	12.0m	107.000m ³	Europa	Agosto a setembro de 1972
Cais de Inflamáveis	224/240	200m	6.9m	263.900m ³	Europa	Outubro de 1972 a janeiro de 1973
Cais de Inflamáveis	-	-	7.0m	160.000m ³	Europa	Julho a setembro de 1973
Em frente ao armazém nº 9	-	-	7.0m	160.000m ³	Europa	Outubro de 1973
Em frente à Ilha Pombeba	-	-	2.0m	-	Europa	Novembro a dezembro de 1973

De 1974 a 2011

1974 - dragagem de manutenção no cais da Gamboa num volume total de 38.350m³ (medição na cisterna dos batelões) durante o mês de dezembro pela draga de alcatruzes Brasília, tendo sido lodo e argila mole e média.

1975 - dragagem de manutenção nos cais da Gamboa, São Cristóvão e Caju para um volume total de 1.044.255m³ (medição nas cisternas dos batelões) de janeiro a dezembro, sendo utilizadas as dragas de alcatruzes Brasília e Europa, que dragaram lodo e argila mole e média.

1976 - dragagem de manutenção, nos cais da Gamboa, São Cristóvão, Caju e Píer da Pça. Mauá, para um volume total de 481.020m³ (medição nas cisternas dos batelões), de Janeiro a Julho, sendo utilizadas as dragas de alcatruzes Brasília e Olinda que dragaram lodo e argila mole e média.

1977 - Dragagem para retificação do canal de acesso à Baía de Guanabara entre a Ilha de Cotunduba e a Pedra do Pão de Açúcar, num volume total de 800.000m³ (medição "in situ") de Janeiro a Março, sendo utilizada a draga auto-transportadora Macapá que dragou areia.

1978 - Dragagem de manutenção para retirada de material acumulado junto à estrutura dos cais de São Cristóvão, Gamboa e Píer Pça. Mauá, numa faixa de 10m de largura, para o volume total de 95.000m³ (medição nas cisternas) de Janeiro a Julho, sendo utilizada uma escavadeira Link Belt sobre flutuante, que, além da retirada de corpos estranhos diversos, dragou lodo e argila mole.

2005 - Serviço de dragagem no canal de acesso e bacia de evolução aos terminais de



contêineres para um volume total de 450.000m³.

2005 - Serviço de dragagem ao longo do canal de acesso ao cais da Gamboa de São Cristóvão, para um volume total de 600.000m³.

2010/2011- Dragagem de 4.000.000m³ nos canais de acesso, bacia de evolução, terminais de contêineres e terminal de produtos siderúrgicos.

2015/2018 - Dragagem de 3.000.000 m³ nos canais de acesso, bacia de evolução, terminais de contêineres.

3 DADOS AMBIENTAIS

É fator essencial para o projeto de qualquer obra de dragagem, o conhecimento do comportamento da região de estudo. Com este objetivo, recorre-se à análise de alguns aspectos físicos, tais como o relevo de fundo da área, as marés, os ventos, as correntes, etc.

3.1 Maré e Níveis d'água

Para determinar o comportamento dos níveis d'água no interior da Baía da Guanabara, foram utilizados os dados das medições realizadas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN na Ilha Fiscal e na Fortaleza de Santa Cruz (março de 1991 a março de 1992) e os dados das medições realizadas pela JICA na Ponta da Armação (entrada da baía) e na Ilha de Paquetá (fundo da baía), para os estudos de despoluição da Baía de Guanabara (outubro a novembro de 1992).

A maré na Baía de Guanabara tem característica semidiurna (período aproximadamente igual a 12,5 horas). Na Tabela 3-1 são apresentadas, para cada uma das estações de medições mencionadas acima, as alturas das quatro constantes principais da maré (M2, S2, K1 e O1). Na Figura 3-1 é possível observar uma comparação entre as curvas de maré medidas pela JICA na Ponta da Armação e na Ilha de Paquetá em 10 de novembro de 1992.

Tabela 3-1. Constantes Harmônicas da Maré.

Estação	M2 (cm)	S2 (cm)	K1 (cm)	O1 (cm)	Altura da Maré (cm)	Fonte
Ilha Fiscal	30.9	17.9	5.8	10.5	65.1	DHN
Fortaleza de Santa Cruz	31.6	17.4	6.5	10.5	66.0	DHN
Ponta da Armação	34.1	16.7	5.4	10.2	66.4	JICA
Ilha de Paquetá	38.8	19.7	6.0	10.6	75.0	JICA

A partir da Tabela 3-1 e da Figura 3-1 pode-se observar que a maré na Ilha de Paquetá, são cerca de 12 a 13cm maiores do que na entrada da baía (Ponta da Armação), o que mostra uma amplificação da maré na direção do fundo da baía. Este fenômeno ocorre tanto para a maré de sizígia como para a de quadratura.

A Figura 3-1 mostra ainda que praticamente não existe defasagem entre a maré na entrada da baía e no fundo, embora seja possível observar que em Paquetá a passagem da preamar para a baixa-mar ocorre um pouco mais rápida do que na Ponta da Armação.

A Figura 3-2 apresenta a correlação entre os níveis de referência do Porto (Portobras), DHN e IBGE para a área e níveis d'água característicos da Baía da Guanabara.

A influência do vento, sobretudo os das direções Norte e Sul, sobre o nível médio da maré na Baía de Guanabara, são muito sensíveis. Este efeito, conhecido como maré meteorológica, leva o nível médio até cerca de 0,70cm abaixo do nível médio normal, como pode ser visto na Figura 3-3.

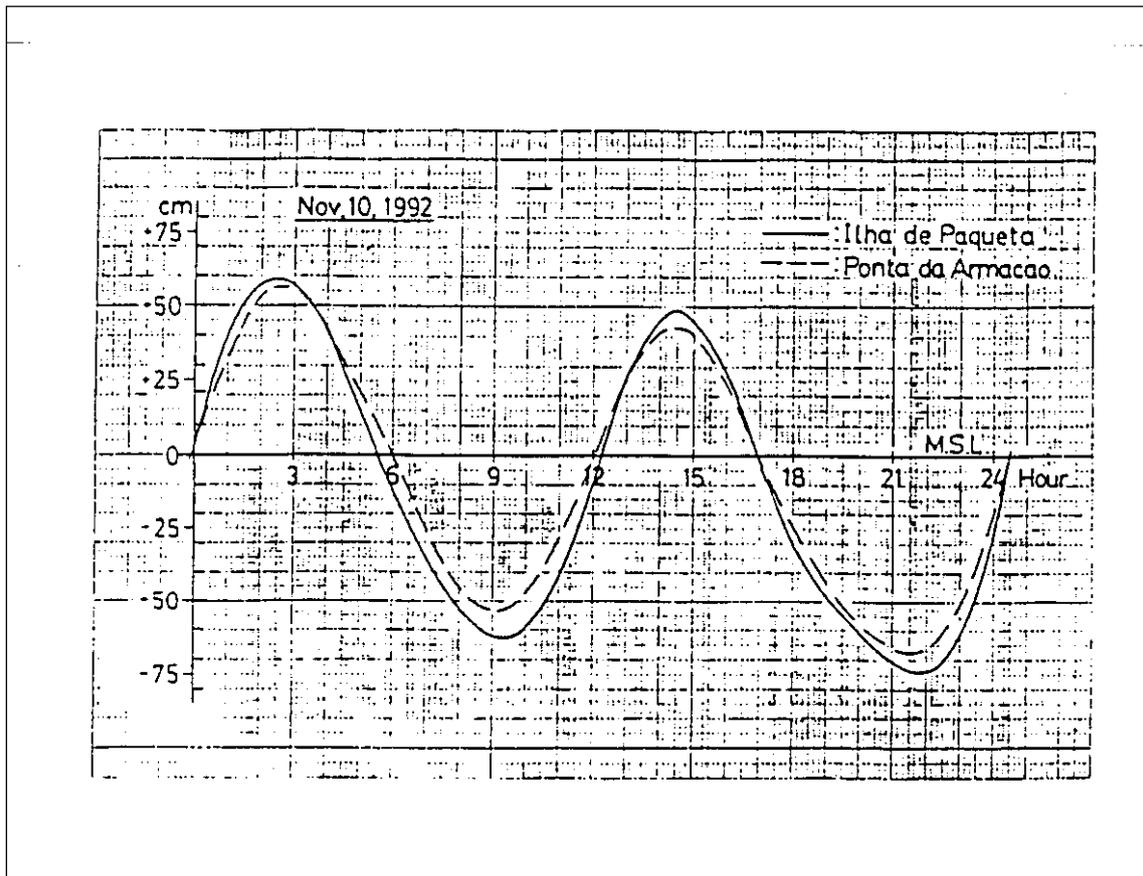


Figura 3-1. Comparação entre curvas de marés.

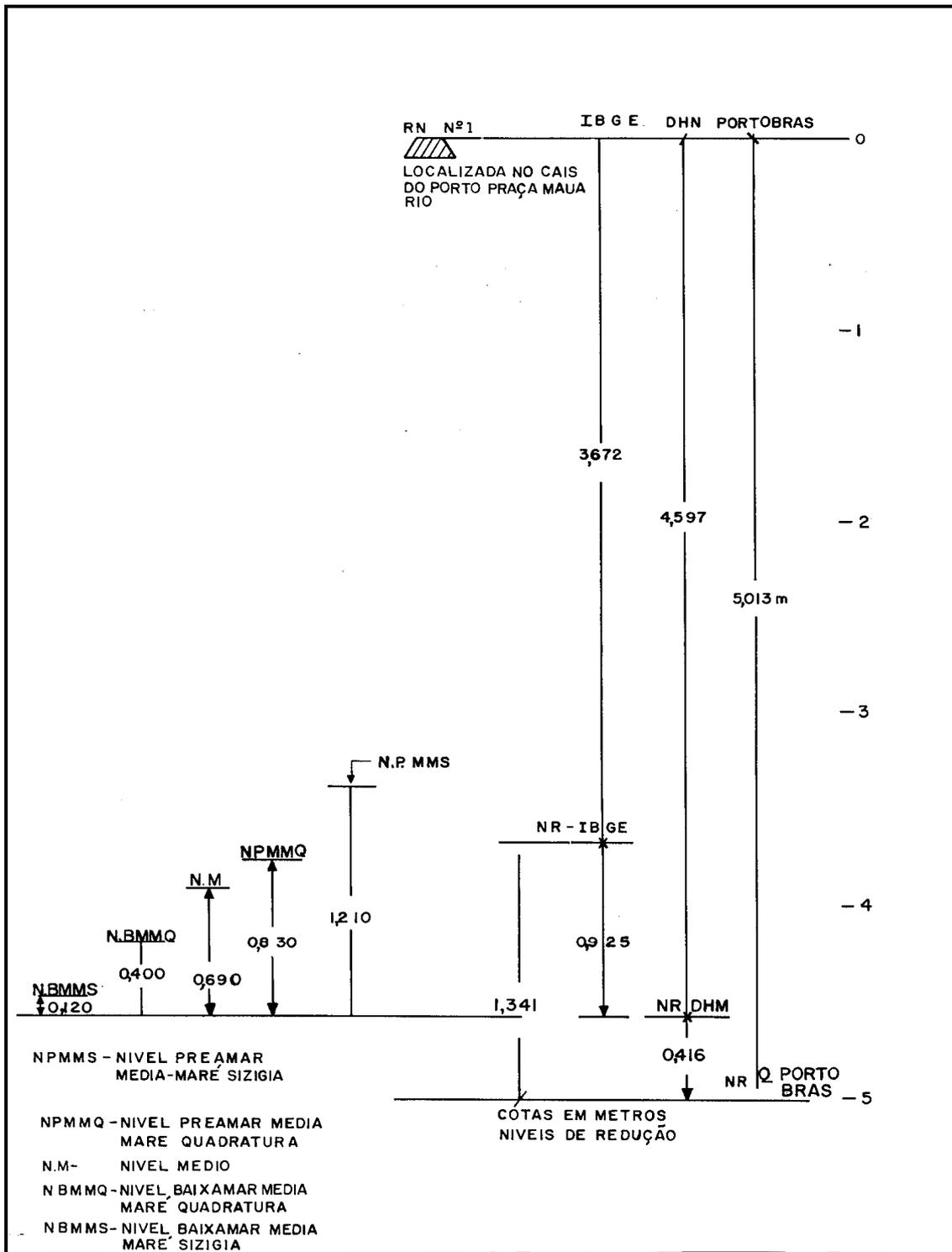


Figura 3-2. Níveis de referência do Porto.

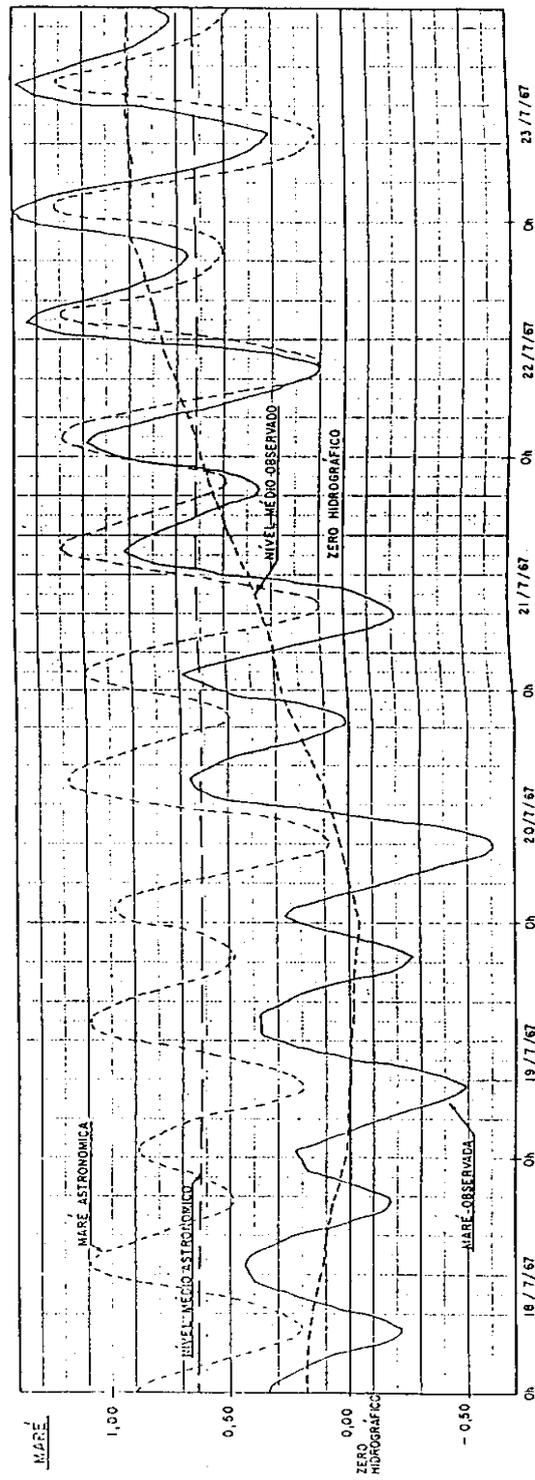


Figura 3-3. Efeito da maré meteorológica.

3.2 Correntes de Marés

Os dados aqui apresentados foram obtidos das medições realizadas pela JICA para os estudos de despoluição da Baía de Guanabara em 1992. A partir desses dados pode-se constatar que a circulação d'água na Baía de Guanabara é governada principalmente pelas marés.

Na Figura 3-4 são mostradas as estações onde as correntes de marés foram medidas e na Tabela 3-2 são apresentadas as máximas velocidades observadas em cada estação durante a enchente e durante a vazante, com as correspondentes direções das correntes em relação ao Norte.

A partir da Figura 3-4 e da Tabela 3-2 pode-se observar que as maiores velocidades das correntes de marés ocorrem na entrada da baía (estação B) e no canal situado atrás da Ilha do Governador (estação H). A maior velocidade medida foi de 156cm/s, tendo sido registrada na estação B, a uma profundidade de 3,0m abaixo do nível do mar.

Pode-se observar ainda que as velocidades das correntes de maré na baía tendem a ficarem mais fracas à medida que elas se deslocam para o fundo, ou seja, elas são da ordem de 50 - 70cm/s no centro da baía, 30 - 50cm/s próximo à Ilha de Paquetá e 20 - 30cm/s do lado Nordeste da Ilha do Governador. Fora da baía a máxima velocidade medida foi de 31cm/s.

Tabela 3-2. Velocidades Máximas das Correntes de Marés.

Estação	Camada	Maré	Fase 1 - Junho / 1992		Fase 2 - Out/Nov/1992	
			Vel. Máx. (cm/s)	Dir. (°N)	Vel. Máx. (cm/s)	Dir. (°N)
A	superfície	enchente	49	350	85	019
		vazante	65	148	65	169
	fundo	enchente	75	356	96	002
		vazante	40	158	57	188
B	superfície	enchente	67	346	156	358
		vazante	68	171	137	203
	fundo	enchente	52	338	105	003
		vazante	54	167	53	197
C	superfície	enchente	52	359	54	342
		vazante	48	194	44	158
D	superfície	enchente	56	023	62	042
		vazante	45	200	57	201
E	superfície	enchente	-	-	42	005
		vazante	-	-	21	132
F	superfície	enchente	31	002	48	356
		vazante	16	231	19	199
G	superfície	enchente	-	-	24	110
		vazante	-	-	32	262
H	superfície	enchente	-	-	100	020
		vazante	-	-	57	183
I	superfície	enchente	-	-	10	044
		vazante	-	-	31	213

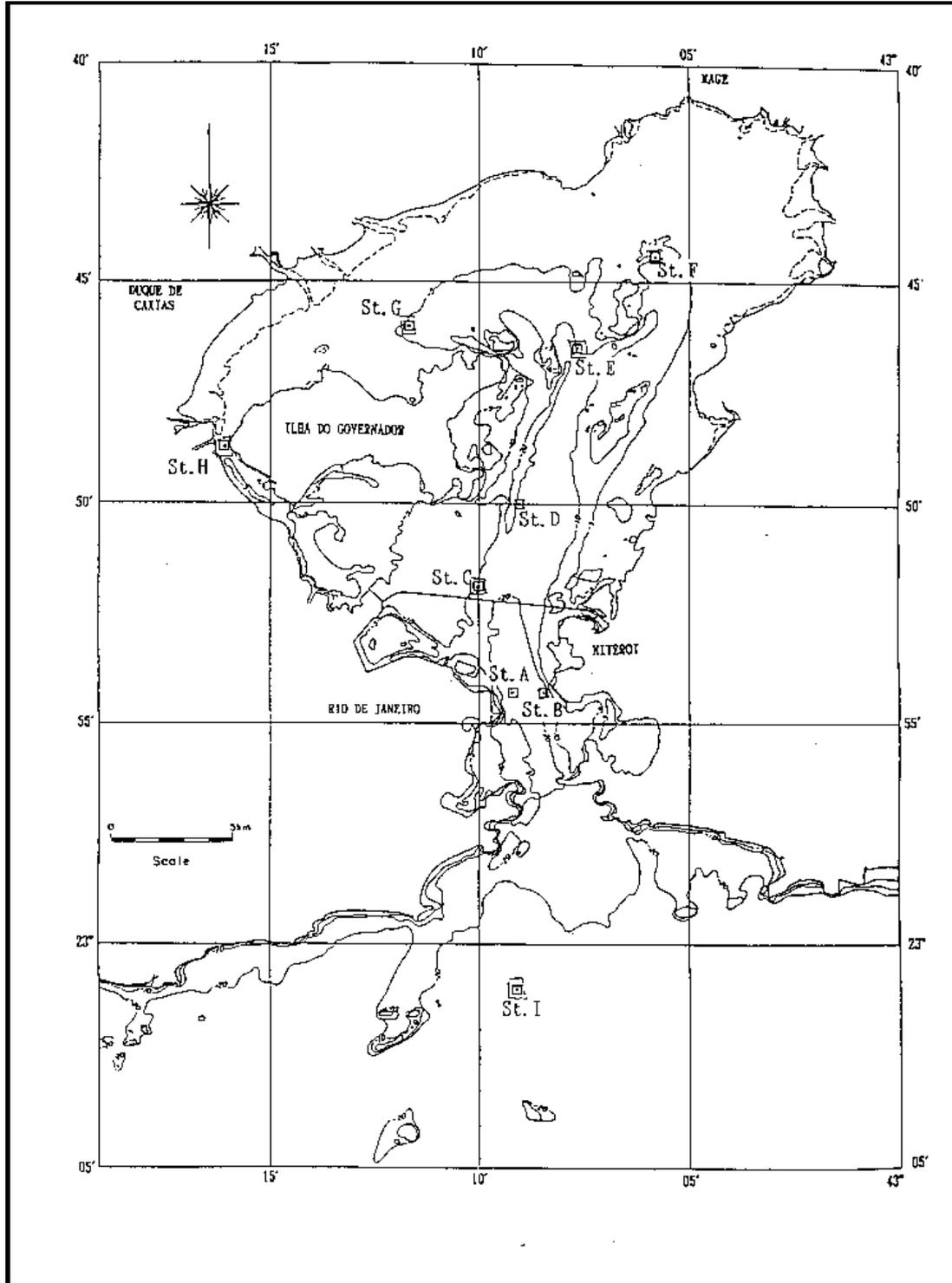


Figura 3-4. Localização das estações de medição de correntes da JICA.

3.3 Ventos

Os dados aqui apresentados foram obtidos através da análise dos ventos medidos no Aeroporto Santos Dumont, realizados por este instituto.

A análise das medições anemográficas efetuadas no Aeroporto Santos Dumont durante o período de 2002 a 2012 mostrou que os ventos reinantes na região são os provenientes dos quadrantes SE (40%) e Norte (10,6%), embora esses últimos tenham se mostrado, em geral, fracos, com velocidades abaixo de 7 nós (12,5Km/h). As velocidades dos ventos foram quase sempre inferiores a 30 nós (50km/h), com algumas exceções observada, quando os ventos atingiram 50 a 60 nós (90 a 100Km/h).

O conhecimento do regime de ventos da região é importante também para o estudo das ondas geradas no interior da baía pela atuação dos ventos locais.

3.4 Ondas

As ondas oceânicas, ou seja, as geradas ao largo da costa do Rio de Janeiro, não são importantes para o presente estudo, pois apesar dessas ondas penetrarem na Baía de Guanabara, elas sofrem um grande amortecimento antes mesmo de chegarem Porto do Rio de Janeiro. Assim, apenas as ondulações de pequena altura e de curto período, geradas pelos ventos locais dos quadrantes Norte a Leste, poderão ocorrer na área do porto.

3.5 Batimetria

A batimetria utilizada para a definição do traçado geométrico do canal, bem como os cálculos de volume de dragagem é o resultado de um mosaico entre levantamentos realizados de 2011 e 2018, e estão assinalados sobre a carta náutica na Figura 3-5.

A Figura 3-6 mostra as relações existentes entre o zero da régua, o RN utilizado e o NR, conforme os procedimentos utilizados pela DHN.

O Datum Horizontal do levantamento está referenciado ao WGS-84.

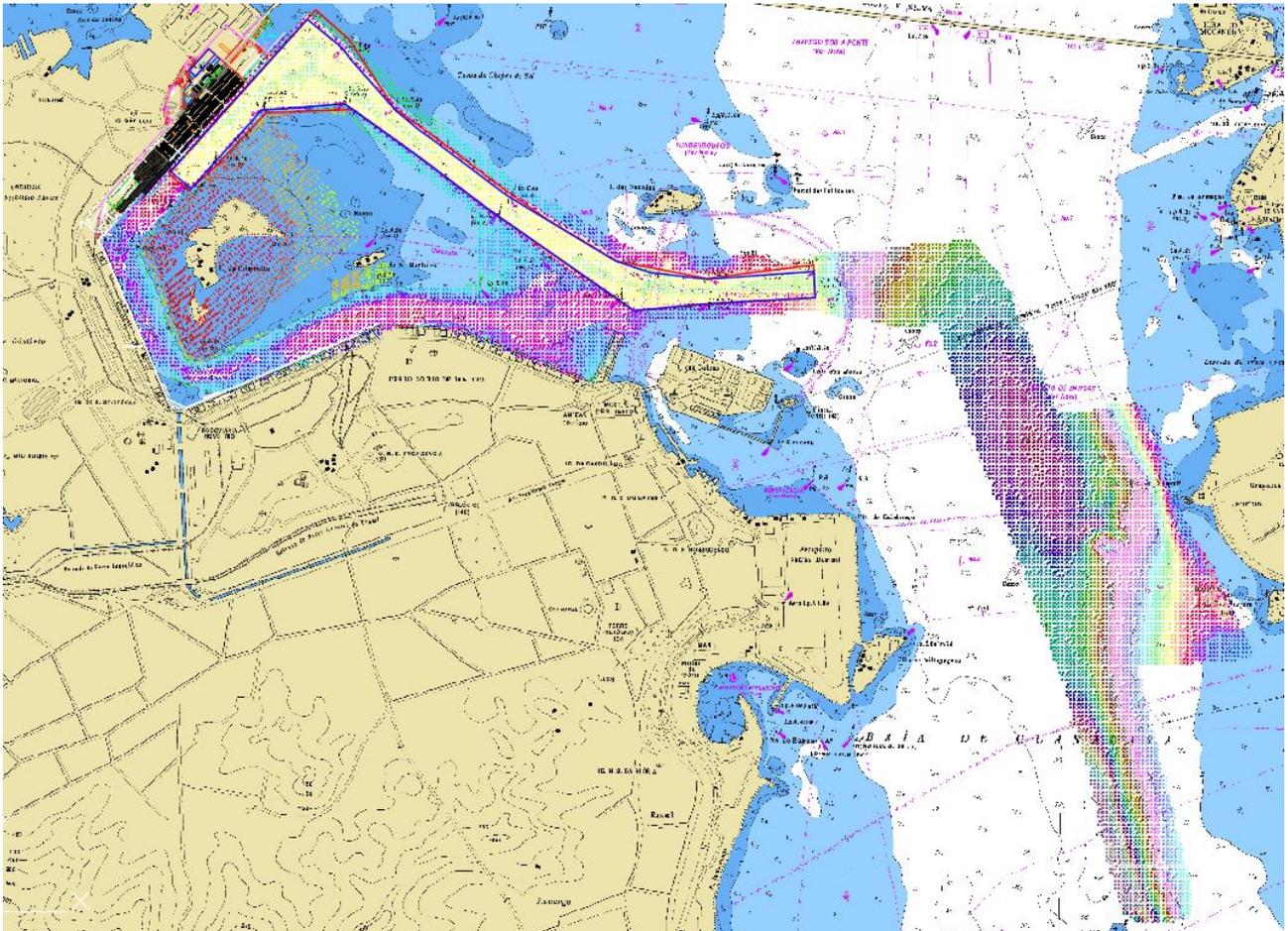


Figura 3-5. Levantamento batimétrico.

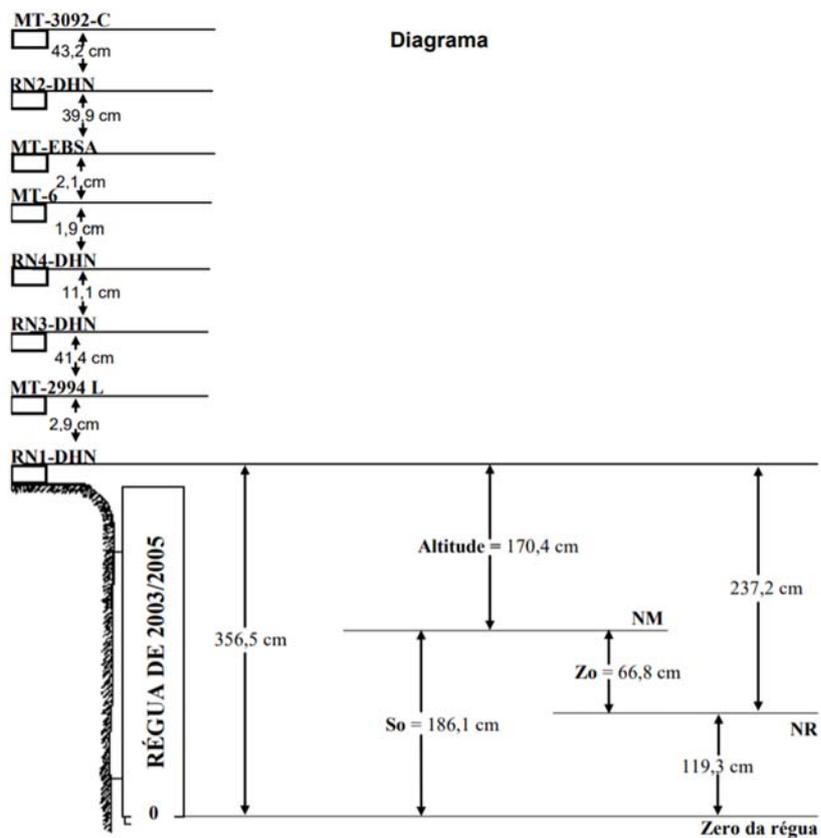


Figura 3-6. Relação entre cotas da régua e referências de nível.



As plantas de batimetria apresentadas em anexo, representam as profundidades mínimas existentes na área hidrografada.

As profundidades foram reduzidas para o Nível de Redução (NR) da Estação da Ponta da Armação que se encontra a 119,3 cm acima do zero da régua.

4 DESCRIÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS

4.1 Modelo Hidrodinâmico - MIKE 21 FM HD

O MIKE 21 FM HD é o módulo básico do Sistema Computacional MIKE 21. Ele fornece a base hidrodinâmica para os cálculos computacionais realizados na maioria dos outros módulos, como o módulo de Advecção - Dispersão de Poluentes e o módulo de Transporte de Sedimentos.

O modelo simula as variações dos níveis d'água e dos fluxos, em resposta aos diversos esforços atuantes em lagos, estuários, baías e áreas costeiras (marés, ventos, descargas fluviais, tensões de radiação geradas pela propagação das ondas, etc.).

Os níveis d'água e os fluxos são resolvidos numa triangular não estruturada, de volumes finitos, cobrindo toda a área de interesse. As condições de contorno para o modelo matemático são a batimetria, os coeficientes de atrito no fundo, o clima de ventos, as condições hidrográficas no contorno do modelo, etc.

O MIKE 21 FM HD é aplicável à solução de uma vasta gama de fenômenos hidráulicos, tais como prismas e correntes de marés, redemoinhos e vórtices, seiches em portos, ondas de ruptura de barragens, tsunamis, correntes geradas pelas ondas (combinadas com correntes de maré e/ou correntes geradas pelos ventos, se relevantes), etc.

O módulo hidrodinâmico do MIKE 21 resolve as equações, integradas na vertical, da continuidade e da conservação da quantidade de movimento em duas dimensões horizontais, aplicando o esquema de volumes finitos, com precisão de segunda ordem. Os efeitos abaixo são possíveis de serem incluídos no modelo:

- termo convectivo e transversal da quantidade de movimento;
- tensão cisalhante no fundo;
- tensão cisalhante do vento na superfície;
- gradientes de pressão barométrica;
- tensões de radiação provenientes de campo de ondas;
- forças de Coriolis;
- dispersão da quantidade de movimento (viscosidade turbulenta);
- fontes e sumidouros (de massa e de quantidade de movimento);
- evaporação / precipitação;

- áreas que tanto podem ficar alagadas, quanto secas, durante a simulação.

Os níveis d'água e os fluxos instantâneos são obtidos a partir da solução das equações de continuidade e de momento. Variáveis tais como a elevação da superfície, velocidade e direção das correntes, e as componentes da velocidade nos eixos x e y, podem ser obtidas a partir dos dados de saída básicos do programa, mediante a utilização dos recursos de pré e de pós-processamento do MIKE 21.

O MIKE 21 HD foi desenvolvido para trabalhar com números de Courant até 5, sem problemas de estabilidade. No entanto, dependendo das características do corpo d'água, esse valor pode chegar até 20. As equações básicas do modelo são dadas por:

➤ **Continuidade:**

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0$$

➤ **Conservação da Quantidade de Movimento em x:**

$$\begin{aligned} & \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} (pq) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} \\ & + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w \partial x} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{xy}) \right] - \Omega q \\ & - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0 \end{aligned}$$

➤ **Conservação da Quantidade de Movimento em y:**

$$\begin{aligned} & \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (pq) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} \\ & + \frac{gq\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w \partial y} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xy}) \right] + \Omega p \\ & - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (p_a) = 0 \end{aligned}$$

onde:

$h(x,y,t)$ - profundidade

$\zeta(x,y,t)$ - elevação da superfície livre

$p,q(x,y,t)$ - densidades do escoamento nas direções x e y

$C(x,y)$ - coeficiente de Chezy



g - aceleração da gravidade

$f(V)$ - fator de atrito do vento

$V, V_x, V_y(x, y, t)$ - velocidade do vento e de suas componentes nas direções x e y

$\Omega(x, y)$ - parâmetro de Coriolis

$p_a(x, y, t)$ - pressão atmosférica

ρ_w - densidade da água

x, y - coordenadas espaciais

t - tempo

$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ - componentes da tensão de cisalhamento

4.2 Modelo de Transporte de Sedimentos Finos em Suspensão - MIKE 21 PA

O MIKE 21 PA (Advecção de Partículas) pertence ao grupo de módulos ambientais do Sistema Computacional MIKE 21. Ele simula o transporte e o destino final de substâncias em suspensão ou dissolvidas na água, quando elas são despejadas, acidentalmente ou não, em lagos, estuários, áreas costeiras ou no mar aberto.

No MIKE 21 PA o transporte da substância pode ser simulado a duas ou a três dimensões. A substância simulada pode ser um poluente de qualquer tipo, conservativo ou não conservativo. A pluma do poluente é tratada como sendo formada por partículas. A cada uma das partículas é associada uma massa, a qual pode mudar durante a simulação, como resultado do decaimento ou da deposição.

Os movimentos das partículas são definidos como a soma dos deslocamentos advectivos e dispersivos. A componente advectiva é determinada através do campo hidrodinâmico do escoamento (correntes) e a componente de dispersão como o resultado de processos randômicos (turbulência da água). A componente de dispersão está dividida em três categorias, chamadas de dispersão longitudinal (ΔD_L), dispersão transversal (ΔD_T) e dispersão induzida por efeitos de gravidade (ΔD_o).

Processos de deposição, de decaimento e de ressuspensão estão incluídos no modelo. O módulo 3D inclui formulações de sedimentação e de ressuspensão tanto para sedimentos coesivos (silte e argila), quanto para sedimentos não coesivos (areia).

O modelo emprega uma formulação Lagrangiana, o que significa que a resolução da pluma do poluente não fica restrita ao tamanho da célula computacional imposta pelo modelo hidrodinâmico.

Para o instante de tempo i , a equação do transporte da partícula pode ser expressa como:



$$\mathbf{X}_{i+1} = \mathbf{X}_i + \mathbf{V} \cdot \Delta t + \underline{\mathbf{D}} \cdot \mathbf{V} + \gamma$$

Onde:

$$\underline{\mathbf{V}} = \begin{pmatrix} u_x \\ u_y \\ -V_{sett} \end{pmatrix}, \quad U = \sqrt{u_x^2 + u_y^2}$$

$$\underline{\mathbf{D}} = \begin{pmatrix} 1 \cdot \Delta D_L & -\Delta D_T & 0 \\ U \Delta D_L & \Delta D_T & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\gamma = \begin{pmatrix} \Delta D_o \\ \Delta D_{ow} \end{pmatrix}$$

Os deslocamentos devidos à dispersão são dados por:

- ΔD_L , dispersão longitudinal causada pela turbulência da água
- ΔD_T , dispersão transversal causada pela turbulência da água
- ΔD_o , dispersão induzida por efeitos de gravidade
- ΔD_{ow} , dispersão causada pela ação do vento sobre a superfície da água

Onde:

$$\overline{\Delta D_L} = \sqrt{6 \cdot D_L \cdot \Delta t} \cdot ([RND_1] - \frac{1}{2}) \cdot 2$$

$$\overline{\Delta D_T} = \sqrt{6 \cdot D_T \cdot \Delta t} \cdot ([RND_2] - \frac{1}{2}) \cdot 2$$

$$\overline{\Delta D_o} = \sqrt{6 \cdot D_o \cdot \Delta t} \cdot ([RND_3] - \frac{1}{2}) \cdot 2$$

$$\overline{\Delta D_{ow}} = \sqrt{6 \cdot (D_o + D_v) \cdot \Delta t} \cdot ([RND_4] - \frac{1}{2}) \cdot 2$$

O campo hidrodinâmico do escoamento é considerado como sendo uma função da profundidade, de acordo com a lei logarítmica de Nikuradse.

$$\frac{|U_{HD}(x,y)|}{U_f} = 8.6 + 2.45 \cdot \left(\ln \frac{h}{k/30} \right)$$



O campo do escoamento inclui a ação do vento através de

$$U(x,y,z) = U_{HD}(x,y,z) - \frac{1}{h_w} \int_0^h U_w(z) dz + U_w(z)$$

onde a distribuição de velocidades devida às tensões cisalhantes do vento na superfície livre é considerada como sendo dada por

$$U_w(z) = C_w \cdot W \cdot \exp(-k_o z) \quad , \quad k_o = 3 / h_w$$

Os símbolos que aparecem nas equações anteriores correspondem a:

- X_i** : coordenadas tridimensionais da partícula no instante i (m)
- x,y,z** : coordenadas da partícula (m)
- Δt** : incremento de tempo (s)
- u_x, u_y** : componentes horizontais da velocidade da corrente (m/s)
- V_{sett}** : velocidade de queda (m/s)
- D_L** : coeficiente de dispersão longitudinal (m²/s)
- D_T** : coeficiente de dispersão transversal (m²/s)
- D_o** : coeficiente de dispersão induzida por efeitos de gravidade (m²/s)
- D_w** : dispersão devida ao vento (m²/s)
- [RND]** : um número randômico uniformemente distribuído [0;1]
- U_f** : velocidade de fricção (m/s)
- k** : rugosidade do fundo (m)
- h_w** : profundidade de influência do vento (m)
- h** : lâmina d'água (m)
- C_w** : coeficiente de fricção do vento (-)
- W** : velocidade do vento (m/s)
- $U_{HD}(x,y)$** : campo das velocidades das correntes integrado na vertical (m/s)

5 DADOS AMBIENTAIS UTILIZADOS NA MODELAGEM MATEMÁTICA

5.1 Batimetria

O domínio utilizado no modelo matemático está apresentado na Figura 5-1. Os dados batimétricos foram extraídos da Carta Náutica DHN nº 1501 (Escala 1:50.000) e de levantamentos recentes feitos no Porto do Rio de Janeiro entre 2012 e 2018.

A malha numérica utilizada foi do tipo triangular não estruturada, através do esquema de discretização espacial por volumes finitos, com o total de 23.168 elementos computacionais. Este tipo de malha numérica permite melhor resolução na área de interesse, onde foram utilizados elementos com distância de 30m entre eles.

A referência de níveis adotada foi o Zero da DHN.

A modelagem foi realizada representando a situação atual da batimetria da área do Porto. Observa-se também a malha computacional utilizada (Figura 5-2).

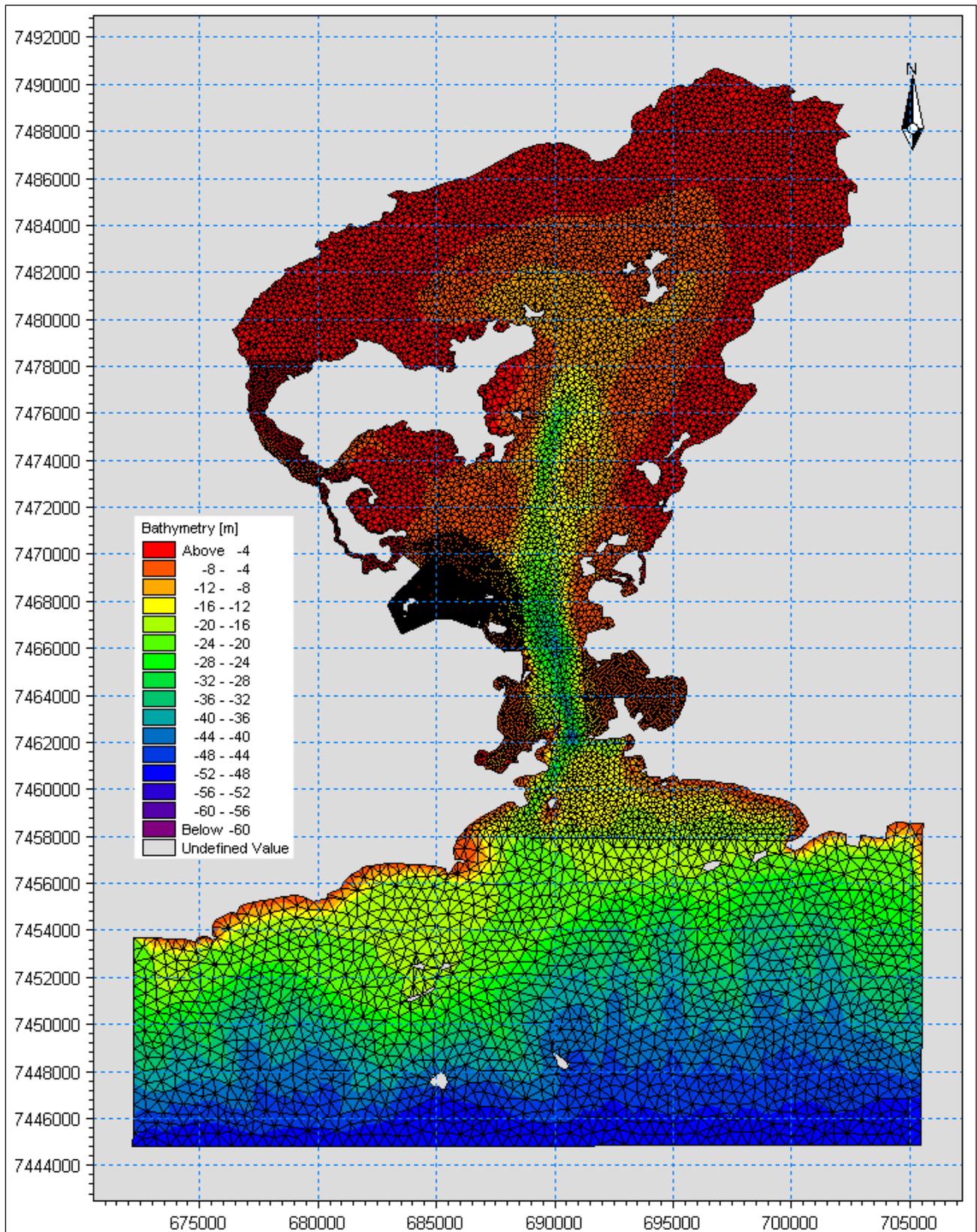


Figura 5-1. Domínio computacional e batimetria utilizada no modelo matemático.

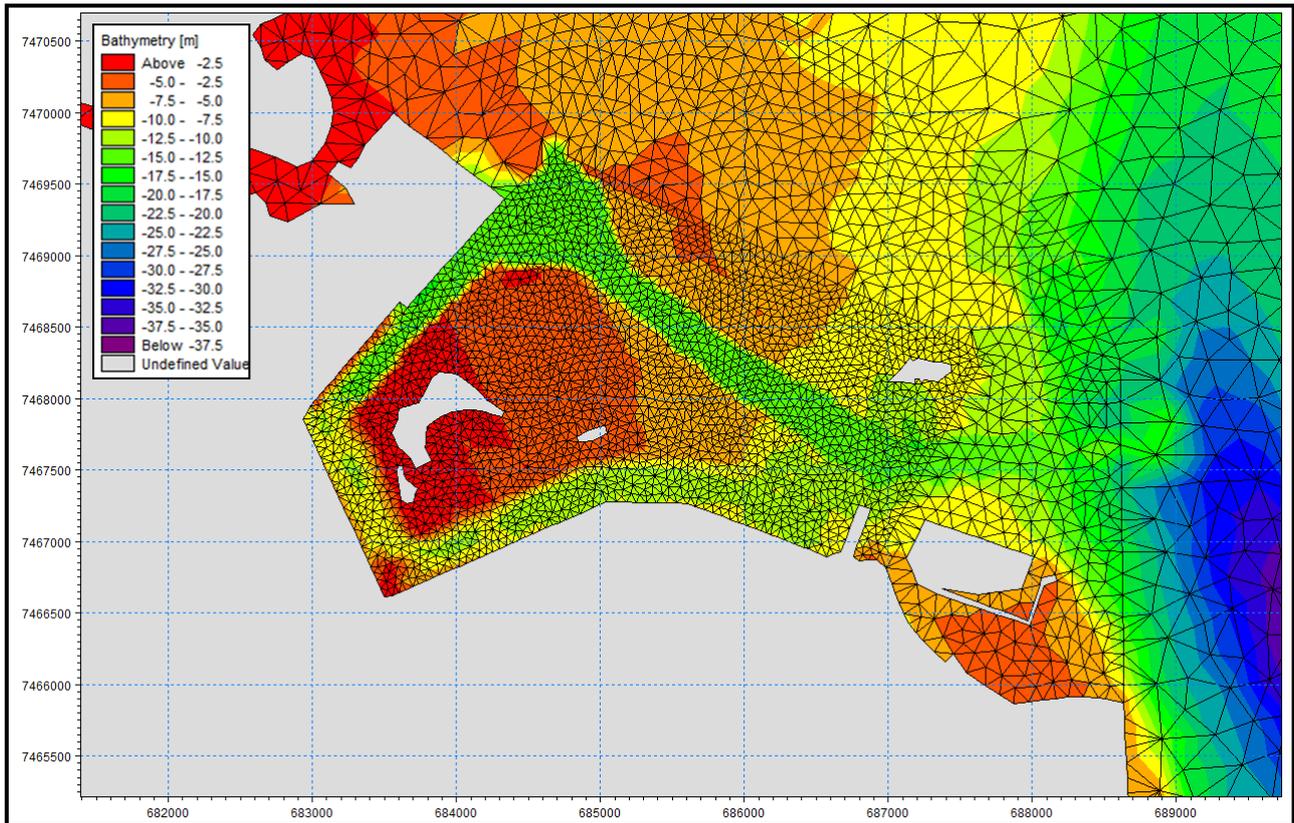


Figura 5-2. Detalhe da malha computacional para a situação atual no Porto.

5.2 Níveis d'água

Os níveis d'água nos contornos abertos do modelo foram determinados com base nas constantes harmônicas das marés medidas em Copacabana, no Píer do Salvamar do Posto Seis, entre 23/06/93 e 06/03/94, conforme consta do "Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras", elaborado pela Fundação de Estudos do Mar - FEMAR. Essas constantes harmônicas estão apresentadas na Tabela 5-1.

Tabela 5-1. Listagem das Constantes Harmônicas
 Nome da Estação: Copacabana - RJ (Píer do Salvamar - Posto Seis)
 Coordenadas: Lat. 22° 59,1' S Long. 43° 11,2' W
 Classificação da Maré: Maré de Desigualdades Diurnas

5.2.1.1.1 Componente Harmônica	Semi-Amplitude H (cm)	Fase g (graus)	5.2.1.1.2 Componente Harmônica	Semi-Amplitude H (cm)	Fase g (graus)
Q1	2,8	58	S2	17,2	87
O1	10,7	86	MO3	0,5	38
M1	0,9	126	M3	0,5	196
K1	6,3	152	MN4	1,5	351
MU2	1,5	83	M4	3,4	34
N2	3,8	121	MS4	1,5	126
M2	30,3	79			

Na Figura 5-3 está uma série temporal de 10 dias de maré, a qual foi utilizada nas simulações (02 a 12/09/2011). Essa série foi gerada utilizando-se uma ferramenta dentro do próprio programa de modelagem MIKE 21, a partir das constantes harmônicas apresentadas na Tabela 5-1. Ela abrange marés de quadratura e de sizígia.

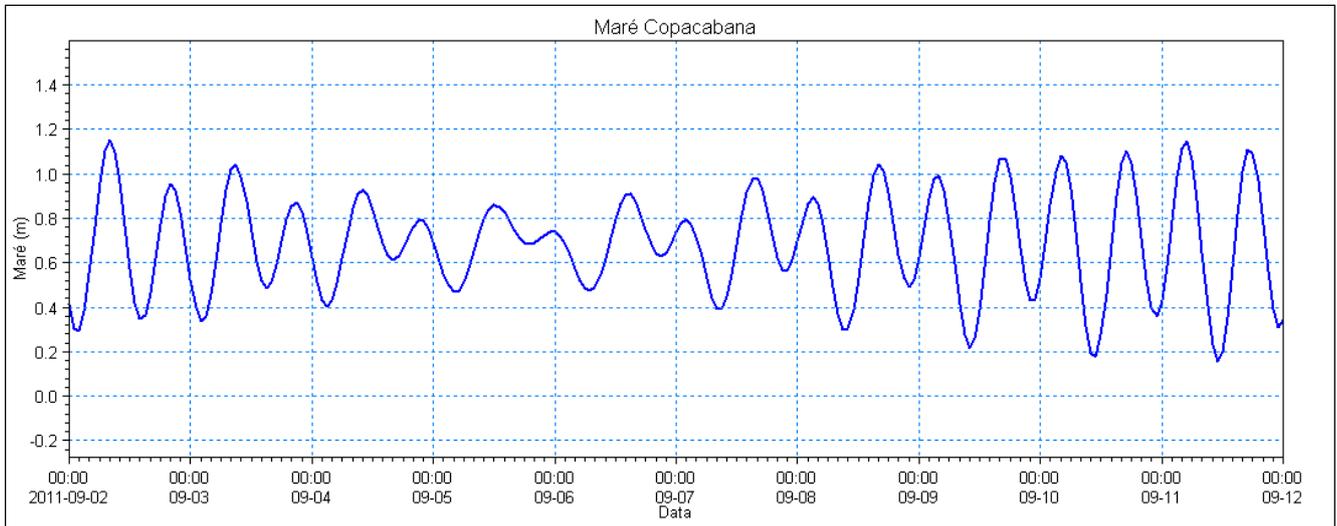


Figura 5-3. Maré em Copacabana, usada nas simulações.

5.3 Ventos

Os ventos utilizados nas simulações foram medidos a cada 1 hora em estação localizada no Forte de Copacabana, controlada pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. A Figura 10 mostra a velocidade e a direção dos ventos registrados durante o período de 02 a 12/09/2011.



Figura 5-4. Características dos ventos medidos de 02 a 12/09/2011 no Forte de Copacabana, do INMET.

6 MODELAGEM HIDRODINÂMICA

6.1 Parâmetros de Calibração

A condição de contorno dada ao modelo foi a série temporal de maré já apresentada. A maré simulada no contorno aberto foi gerada a partir das constantes harmônicas disponíveis para Copacabana. Ela foi propagada e comparada no Porto do Rio com uma série gerada a partir das constantes harmônicas disponíveis para o Porto. Ambas as estações com informações sobre constantes harmônicas foram obtidas no site da FEMAR – Fundação de Estudos do Mar.

Na Figura 6-1 está apresentado um gráfico com a comparação entre a maré simulada e a maré calculada para o Porto do Rio. A Tabela 6-1 mostra os parâmetros utilizados no modelo hidrodinâmico

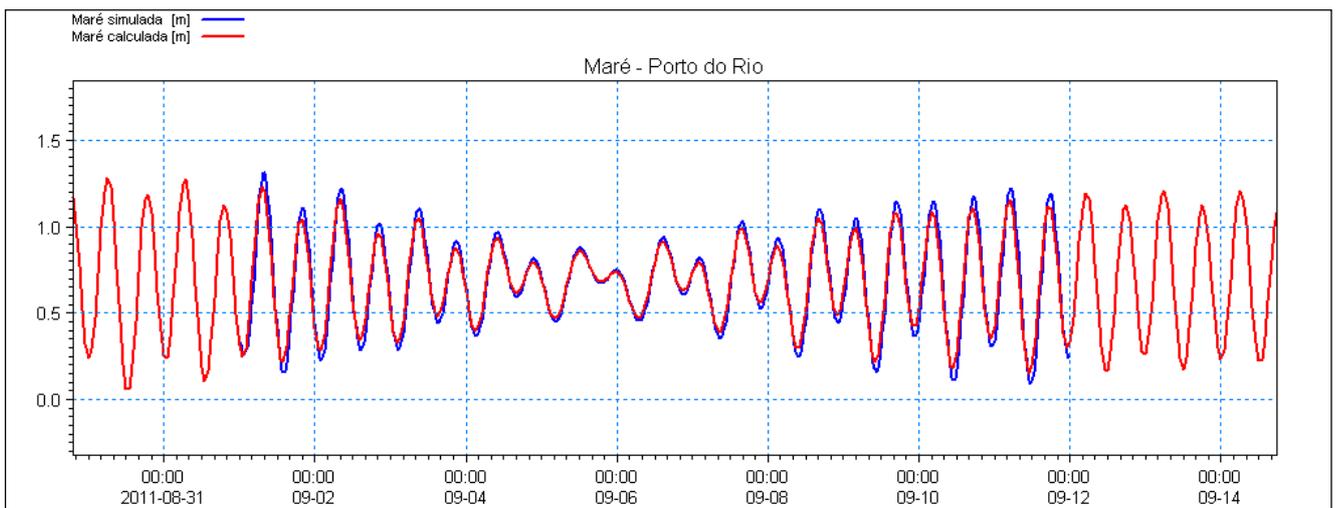


Figura 6-1. Comparação entre a maré simulada e calculada no Porto do Rio.

Tabela 6-1. Parâmetros de calibração

Nº de Manning	32 m ^{1/3} /s
Viscosidade turbulenta	0.28 m ² /s

6.2 Resultados das Simulações

Os resultados das simulações hidrodinâmicas estão apresentados em formas de mapas com as correntes geradas pela ação conjunta da maré e do vento, apenas para um período de maré de Sizígia. Este período de maré possui as maiores velocidades de correntes, possibilitando maiores diferenças entre a situação atual e a situação de projeto.

Na Figura 6-2 pode-se observar o resultado para um instante de maré vazante, e na Figura 6-3 observa-se em detalhe a área de projeto.

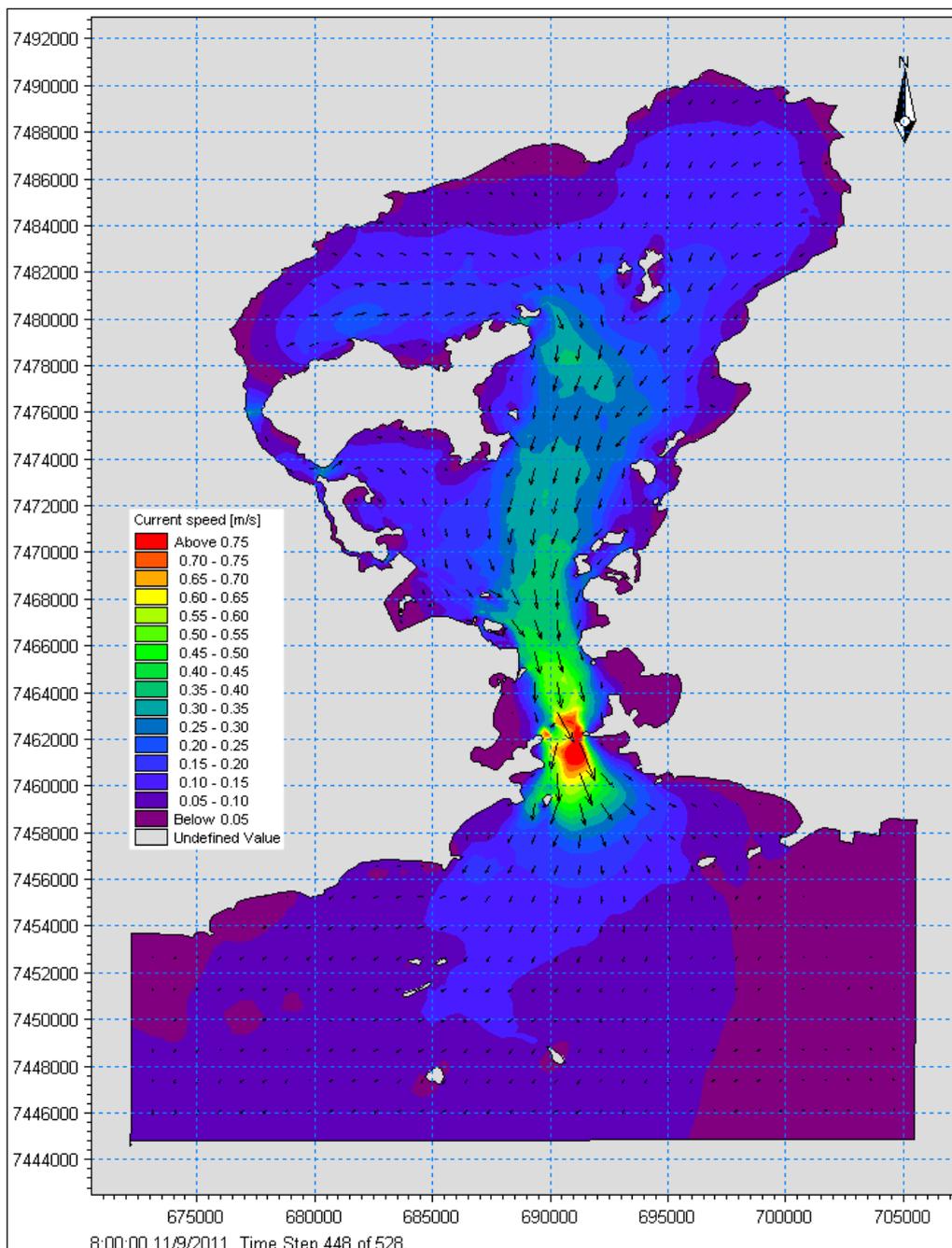


Figura 6-2. Velocidade de corrente na maré vazante.

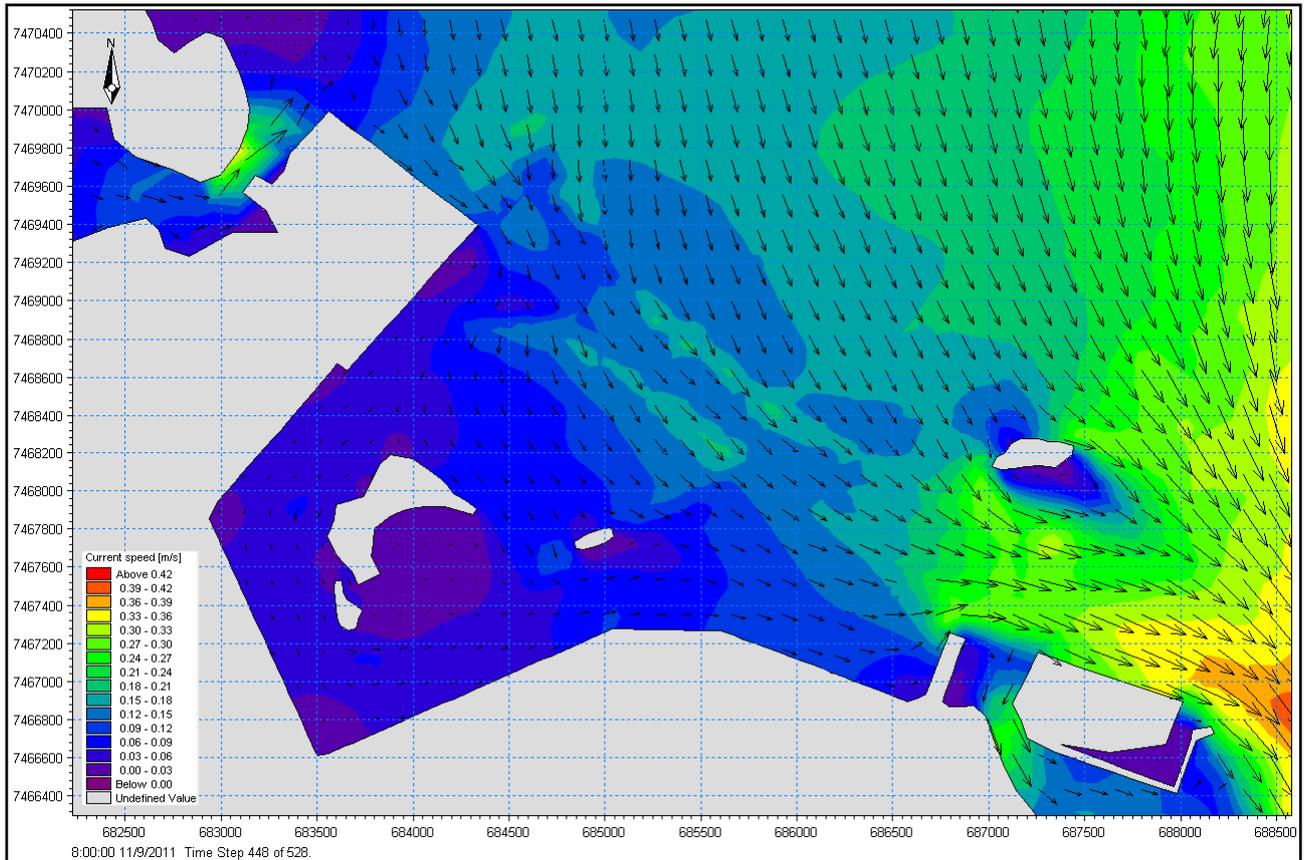


Figura 6-3. Detalhe da velocidade de corrente na maré vazante na situação atual.

Na Figura 6-4 pode-se observar o resultado para um instante de maré enchente, e na Figura 6-5 observa-se em detalhe a área de projeto, respectivamente para a situação atual e de projeto.

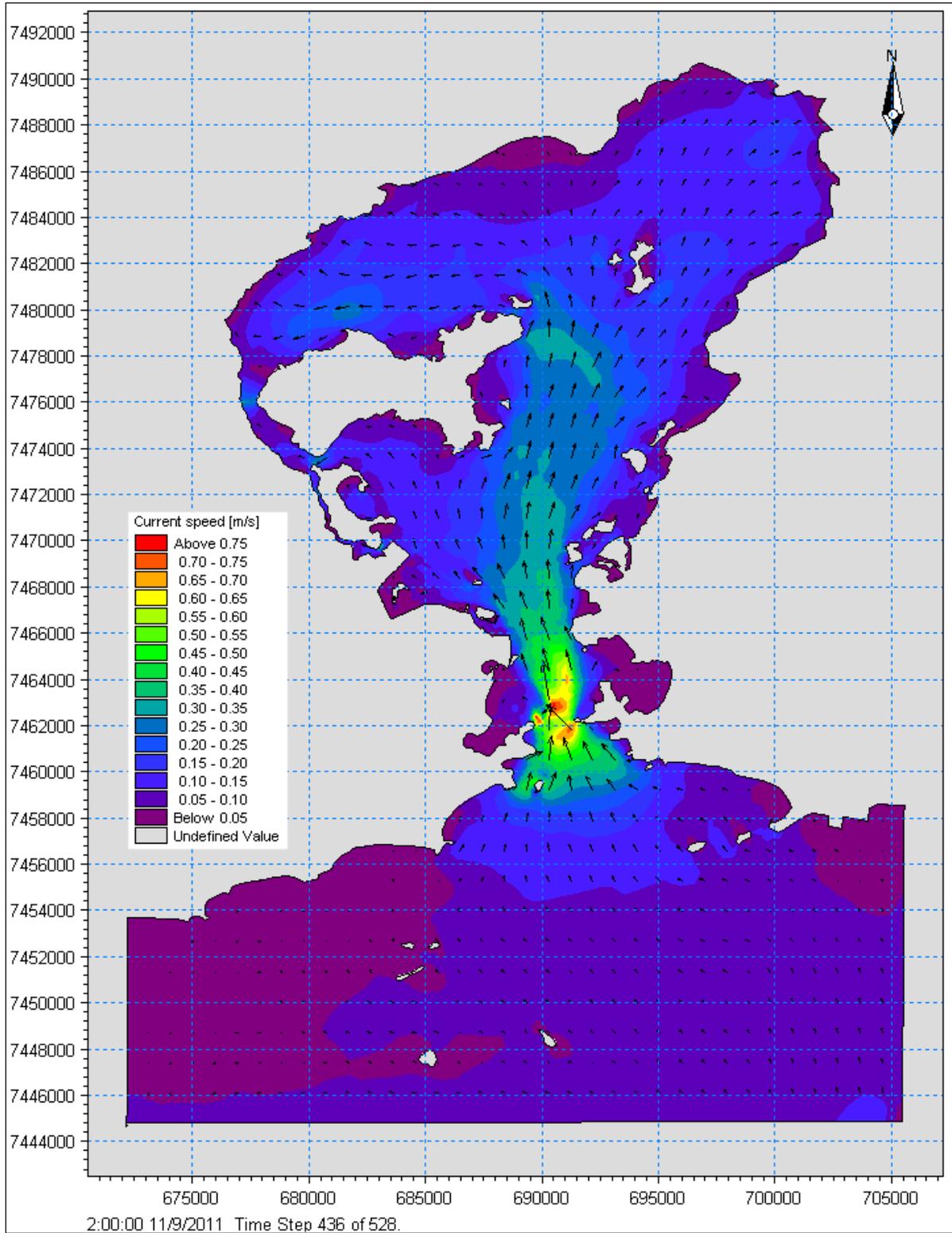


Figura 6-4. Velocidade de corrente na maré enchente.

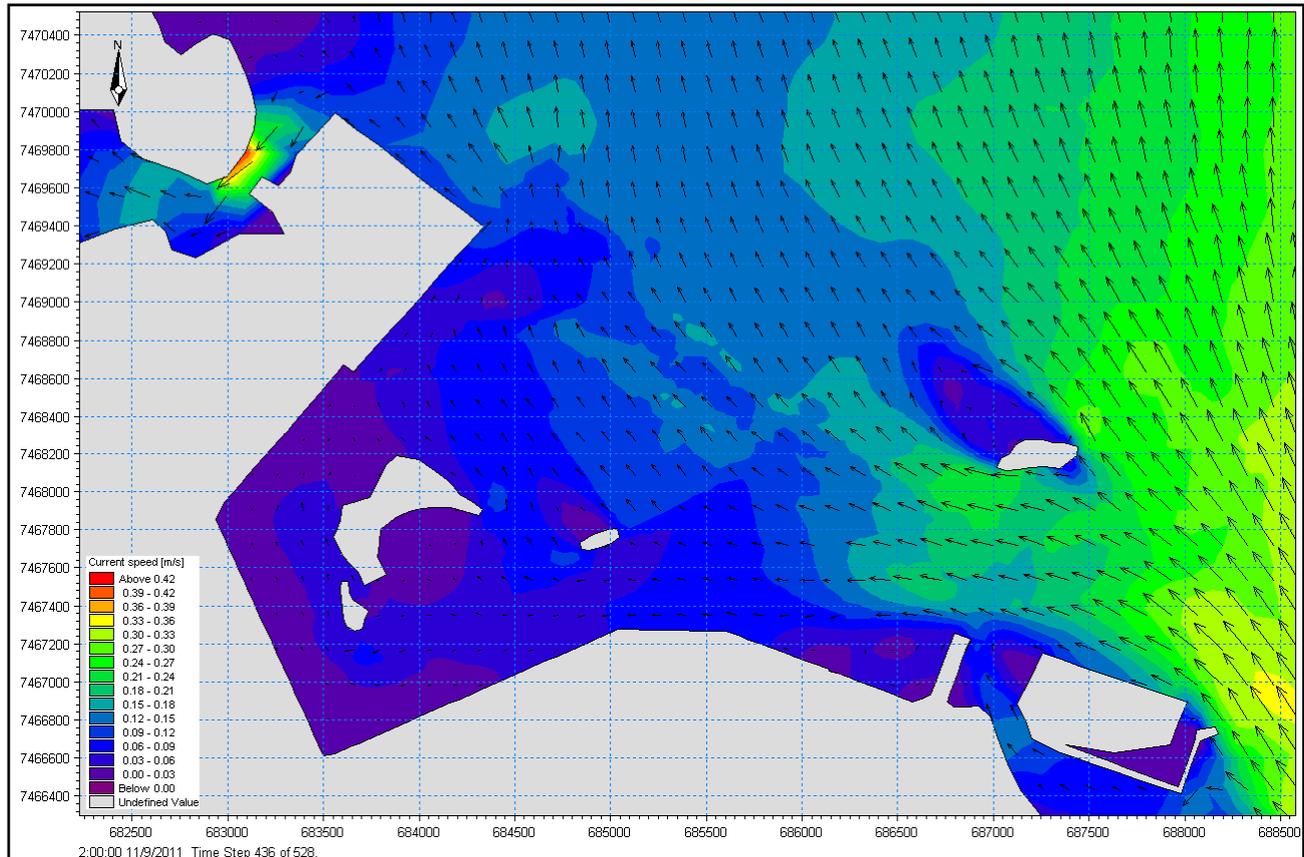


Figura 6-5. Detalhe da velocidade de corrente na maré enchente na situação atual.

Para realizar a comparação entre os resultados das simulações, as velocidades de correntes foram extraídas em 1 ponto do domínio, como demonstrado na Figura 6-6. Estas comparações estão apresentadas na Figura 6-7.

Observa-se que as velocidades de corrente em geral são muito baixas na região, não oferecendo potencial transporte de material. As diferenças de velocidade de corrente entre as situações atual e de projeto chegam no máximo a 0,05 m/s, o que não oferece diferenças significativas nos padrões hidrodinâmicos.

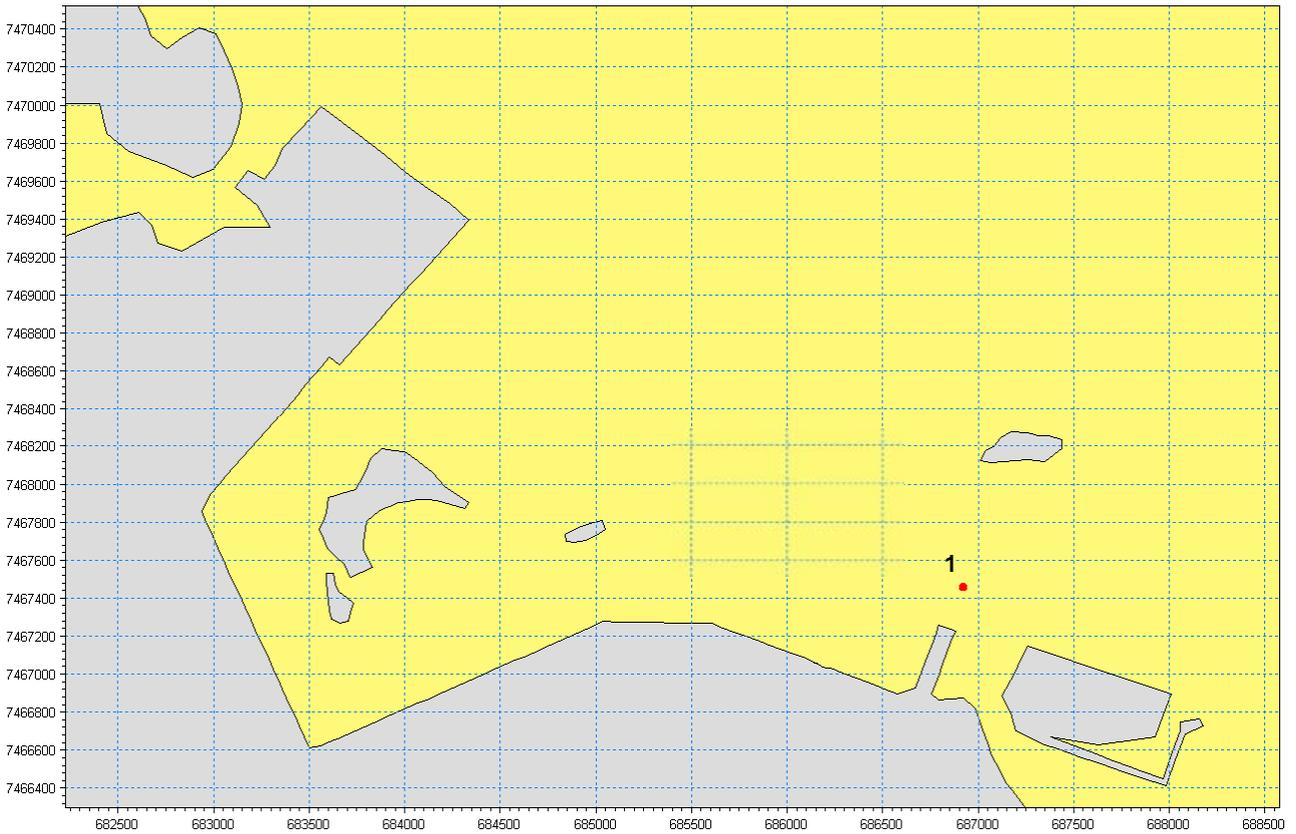


Figura 6-6. Detalhe da localização do ponto onde foi extraída a curva de velocidades de corrente.

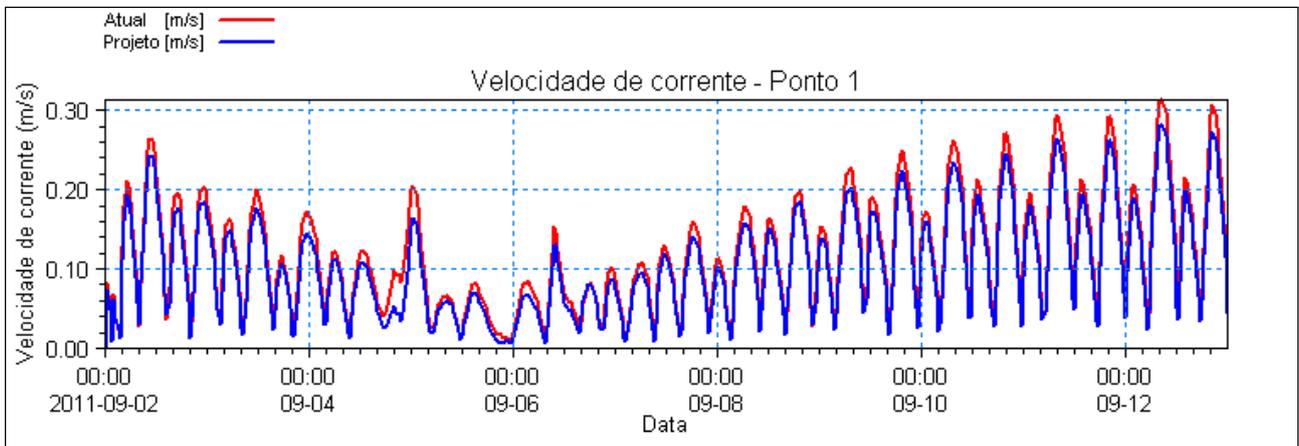


Figura 6-7. Detalhe da velocidade de corrente na maré enchente na situação de projeto.

Esta pequena diminuição das velocidades ocorre pelo fato de se aumentar a seção do canal, mas apesar disso, esse aumento da seção contribui para a melhora da circulação local e renovação das águas na área do Porto.

7 MODELAGEM DA PLUMA DE SEDIMENTOS

7.1 Área de Bota Fora (Área F)

O local para lançamento de material será a Área F. As coordenadas do ponto central da área são $23^{\circ}06'55.0''$ S e $043^{\circ}03'50.9''$ W, localizada a uma profundidade média de 53m, conforme pode ser visto sobre a Carta Náutica da DHN 1506, como mostra a Figura 7-1.

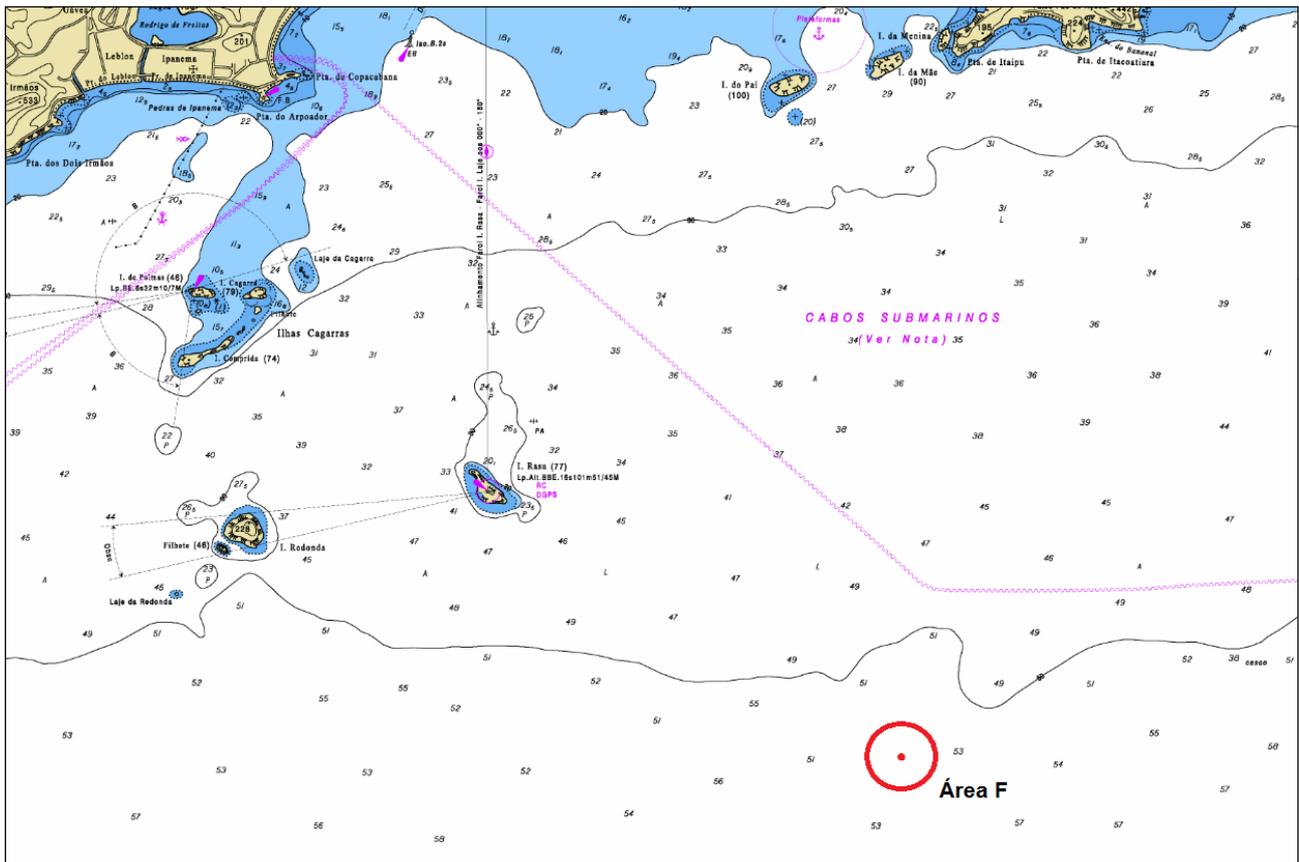


Figura 7-1. Localização Área F de bota-fora.

A Figura 7-2 apresenta o resultado de distribuição granulométrica na região da Baía de Guanabara segundo estudo de Amador em 1983 e 1992, conforme apresentado por Rosman (2004). Através dos dados da figura, observa-se que a granulometria na área do anteprojetado de dragagem compreende a faixa entre silte e areia fina.

No documento “2º Relatório Analítico Trimestral das Atividades do Programa de Gerenciamento Ambiental das Obras de Dragagem de Aprofundamento do Porto do Rio de Janeiro” emitido pela Secretaria de Portos da Presidência da República em 2010, relatou-se que o material a ser dragado era constituído de cerca de 90% do somatório de areia e argila consolidada, parte do material que sedimenta rapidamente. E cerca de 10%

constituído por material fino capaz de entrar em suspensão.

A fim de se obter resultados para as situações limítrofes, em que pode ocorrer maior parcela de sedimentos em suspensão, foram simuladas 3 situações. Cada uma das simulações contemplou uma fração granulométrica do material, a saber, areia muito fina, silte médio e argila. O cenário representado foi o da situação determinada pelos dados de maré e dos ventos medidos.

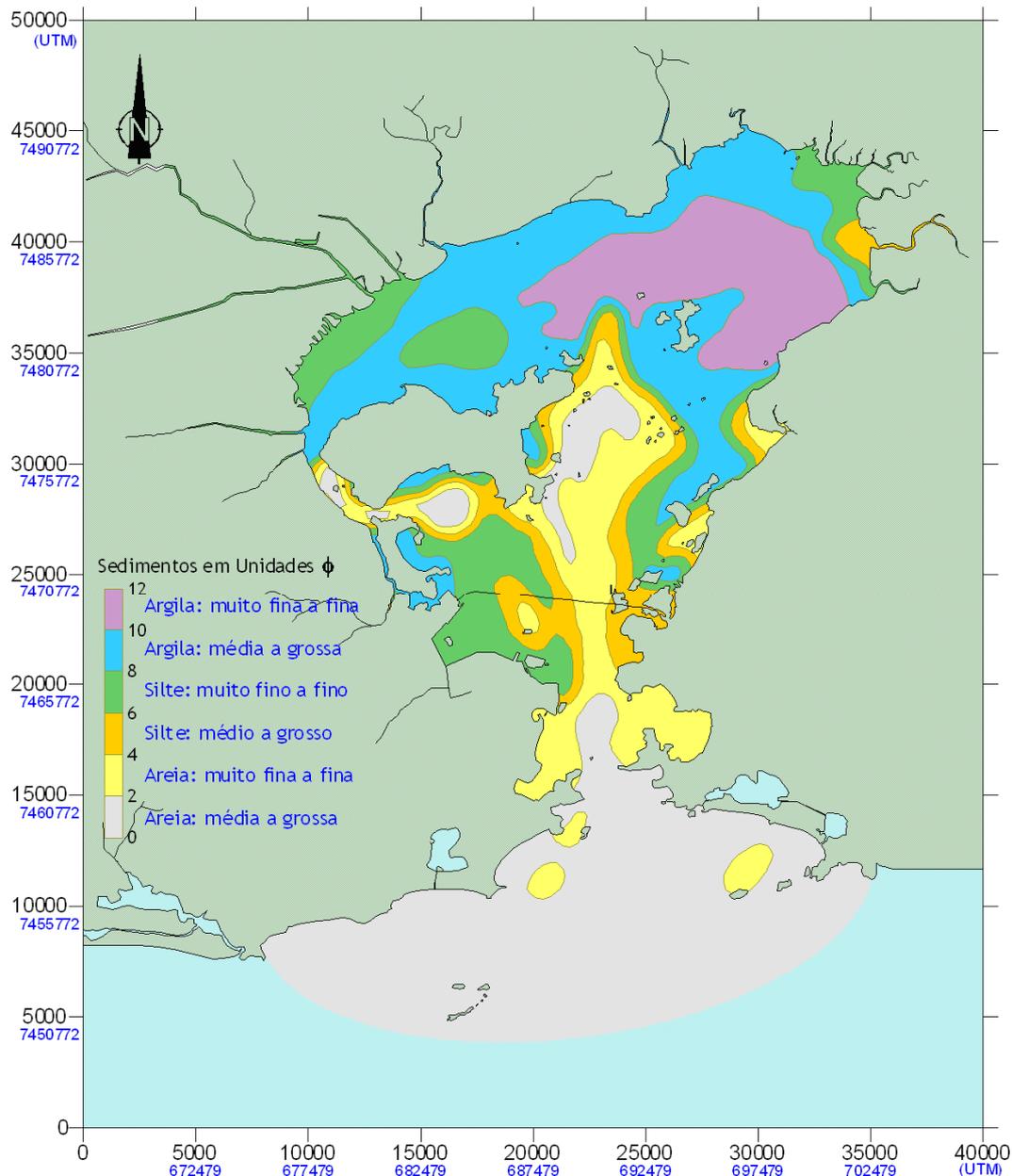


Figura 7-2. Distribuição de sedimentos na Baía de Guanabara. (Fonte: Rosman 2004, baseada em dados de Amador 1983, 1992).



7.2 Parâmetros Numéricos Utilizados

A cada viagem da draga deverão ser lançados no bota fora cerca de 7.000 m³ de material. As simulações foram realizadas considerando-se o lançamento deste volume total para um único tamanho de grão. A primeira apenas com areia muito fina, a segunda apenas com silte médio e a terceira apenas com argila.

A velocidade de queda dos sedimentos foi calculada pela Lei de Stokes, a qual se aplica satisfatoriamente para sedimentos finos, e é dada por:

$$W = \frac{\Delta g D^2}{18\eta}$$

onde:

W = velocidade de queda

Δ = densidade relativa

η = viscosidade dinâmica

g = aceleração da gravidade

D = diâmetro médio do sedimento

Respectivamente, as velocidades de sedimentação foram calculadas para a areia muito fina, silte e argila como 0,00341m/s, 0,00098m/s e 0,000014m/s.

Na simulação do lançamento de argila foi incluída a floculação, fenômeno muito importante na sedimentação dessa fração do material. Na floculação ocorre a agregação de grãos, aumentando significativamente a velocidade de queda. Segundo TRENTO (2005), este fenômeno em água salgada começa a ocorrer para concentrações a partir de 0,1 a 0,3 g/l. Nesta simulação adotou-se a concentração inicial limite de 0,5g/l, o que representaria maior espalhamento da pluma.

Considerando-se que a draga realiza ciclos de lançamentos a cada 6 horas, na simulação foram realizados 40 ciclos consecutivos, num total de 10 dias, cobrindo momentos de maré cheia e vazante, na sizígia e na quadratura.

7.3 Resultados das Simulações

Observa-se uma importante componente das correntes na região na direção Leste-Oeste, o que não permite que as plumas alcancem o litoral ou retornem para a Baía de Guanabara. As figuras abaixo (Figura 7-3, Figura 7-4 e Figura 7-5) mostram o local de sedimentação do material lançado na Área F após o fim dos 40 ciclos, respectivamente para areia muito fina,

silte e argila.

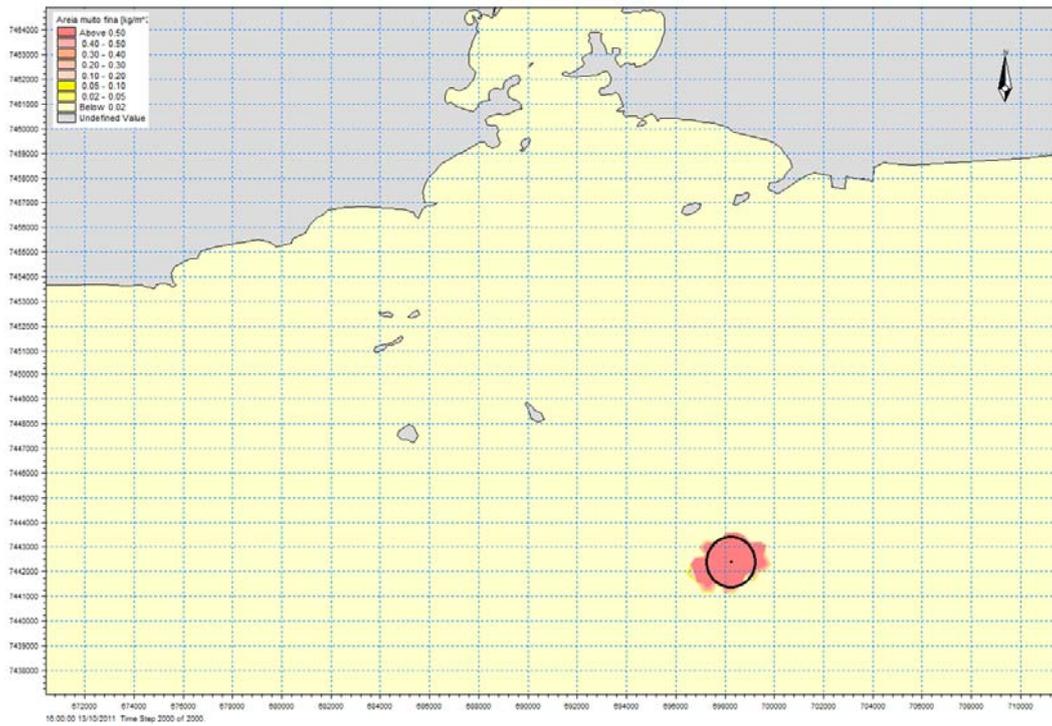


Figura 7-3. Local de deposição de areia muito fina após término dos lançamentos na Área F.

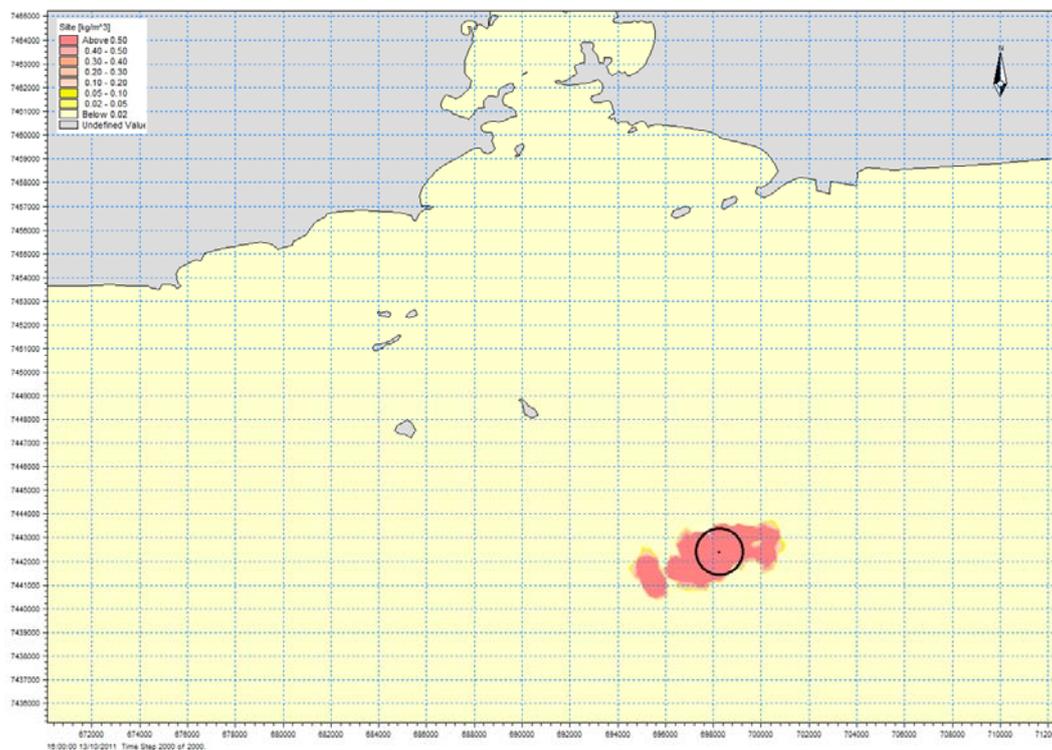


Figura 7-4. Local de deposição de silte após término dos lançamentos na Área F.

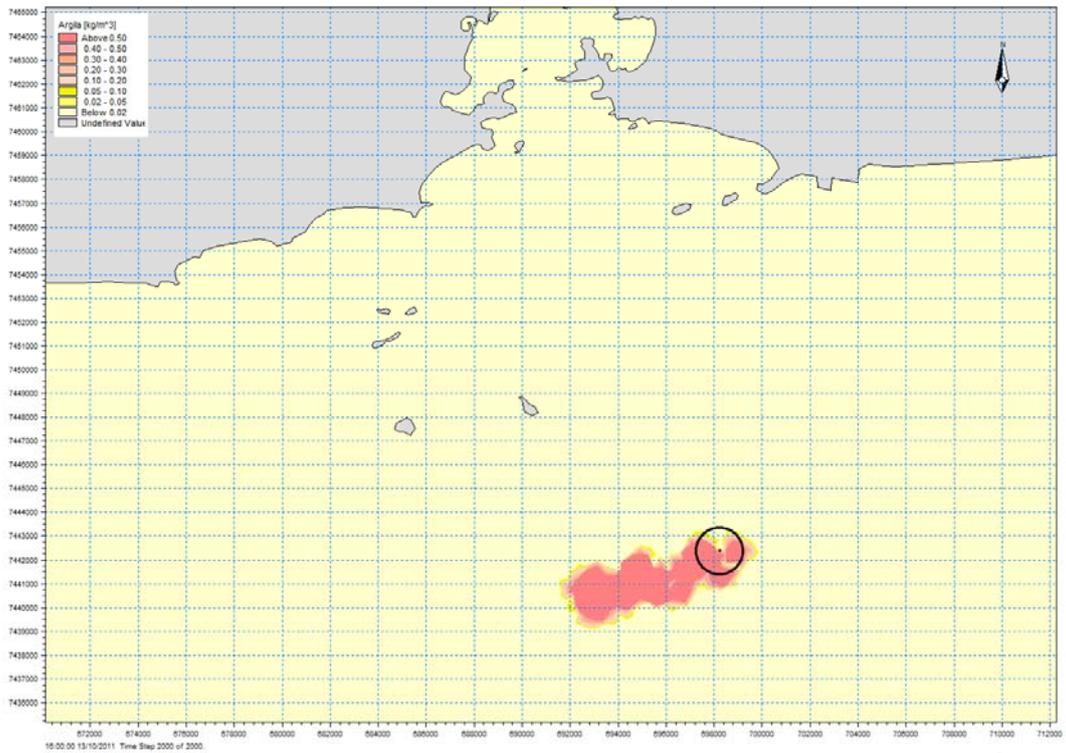


Figura 7-5. Local de deposição de argila após término dos lançamentos na Área F.

8 ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS EM ÁREAS DO PORTO

O presente tópico reúne os dados geológicos básicos, tanto os de cunho geral, quanto aqueles mais específicos à área do Porto do Rio de Janeiro, que, obtidos ao longo do tempo, em inúmeras investigações realizadas, embasam os diversos projetos conduzidos pelo INPH, em particular o atual Anteprojeto de Dragagem (Figura 8-1).

O conhecimento do INPH sobre o conjunto dessas informações tem propiciado, ao longo dos anos, o desenvolvimento de inúmeros projetos e obras de engenharia – sejam de acostagem, dragagem ou derrocagem submarina – voltados aos diversos terminais marítimos públicos e privados do porto.



Figura 8-1. Vista parcial da infraestrutura aquaviária do Porto do Rio de Janeiro, mostrando o traçado relativo do anteprojeto de dragagem ao acesso e área de manobra, no Cais do Tecon.

Importa ressaltar que tais informações permitirão sugerir melhorias nas profundidades e larguras do atual acesso ao Cais do Tecon, do Porto do Rio de Janeiro.

8.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS

O setor litorâneo que se estende do sul fluminense ao norte do Estado de São Paulo se caracteriza pela presença de um grande número de reentrâncias e saliências, que formam enseadas e “rias”, sendo frequente, em muitos locais, o contato direto do mar com as rochas



fundo da baía, e mais elevados, como a faixa correspondente ao alinhamento das ilhas do Governador, Paquetá e Itaoca.

Estratigraficamente, o assoalho da Baía de Guanabara é composto de:

- sedimentos estuarinos holocênicos, depositados após o afogamento marinho que a originou;
- sedimentos fluviais da Formação Caceribu, constituídos por areias feldspáticas grosseiras;
- embasamento cristalino, constituído por gnaisses e migmatitos diversos.

Os sedimentos estuarinos possuem uma espessura média de cerca de 10 metros, distribuídos de forma irregular, com trechos mais espessos, nas áreas mais centrais, e mais rasos, nas bordas da baía, compostos de depósitos marinhos, constituídos de areia grossa mal selecionada, geralmente bimodal, e de sedimentos flúvio-marinhos finos, silto-argilosos ou argilo-siltosos moles, ricos em matéria orgânica.

Não necessariamente aplicáveis a áreas específicas do Porto do Rio de Janeiro, dados pretéritos de perfis geofísicos e sondagens, obtidos na Baía de Guanabara, indicaram a ocorrência de sedimentos da Formação Caceribu, em profundidades superiores a 50 metros, como substrato dos sedimentos marinhos holocênicos.

A idade pleistocênica superior, atribuída a esses depósitos, deve-se à sua posição estratigráfica bem definida, repousando sobre o embasamento pré-cambriano, ou sedimentos da Formação Macacu, e sendo capeados pelos depósitos fluviais, coluviais ou marinhos holocênicos.

No eixo cortado pela Ponte Rio-Niterói ocorrem, ainda, argilas continentais transicionais de origem fluvial, estratigraficamente situadas entre os sedimentos arenosos da Formação Caceribu, do Pleistoceno Superior, e as lamas e areias estuarinas holocênicas.

Sua idade foi estimada entre 8.000 e 10.000 anos, correspondendo a um nível de estabilização do nível do mar, em cota de aproximadamente 40 a 50 metros abaixo do nível do mar atual, quando, provavelmente, instalou-se um sistema de drenagem meandrante.

Devido à sua origem por afogamento marinho, de uma antiga bacia fluvial pleistocênica, a Baía de Guanabara tem um fundo muito irregular, com as isóbatas orientadas por antigos talwegues fluviais, hoje parcial ou totalmente soterrados pela sedimentação estuarina.

Amostragens superficiais de fundo antigas, realizadas em toda a área da baía, demonstram

a ampla predominância de lamas terrígenas orgânicas, com teor superior a 75% de lama, capeando o fundo, desde a parte mais interna da baía, até cerca de 3 Km ao sul da Ponte Rio-Niterói (Figura 8-3).

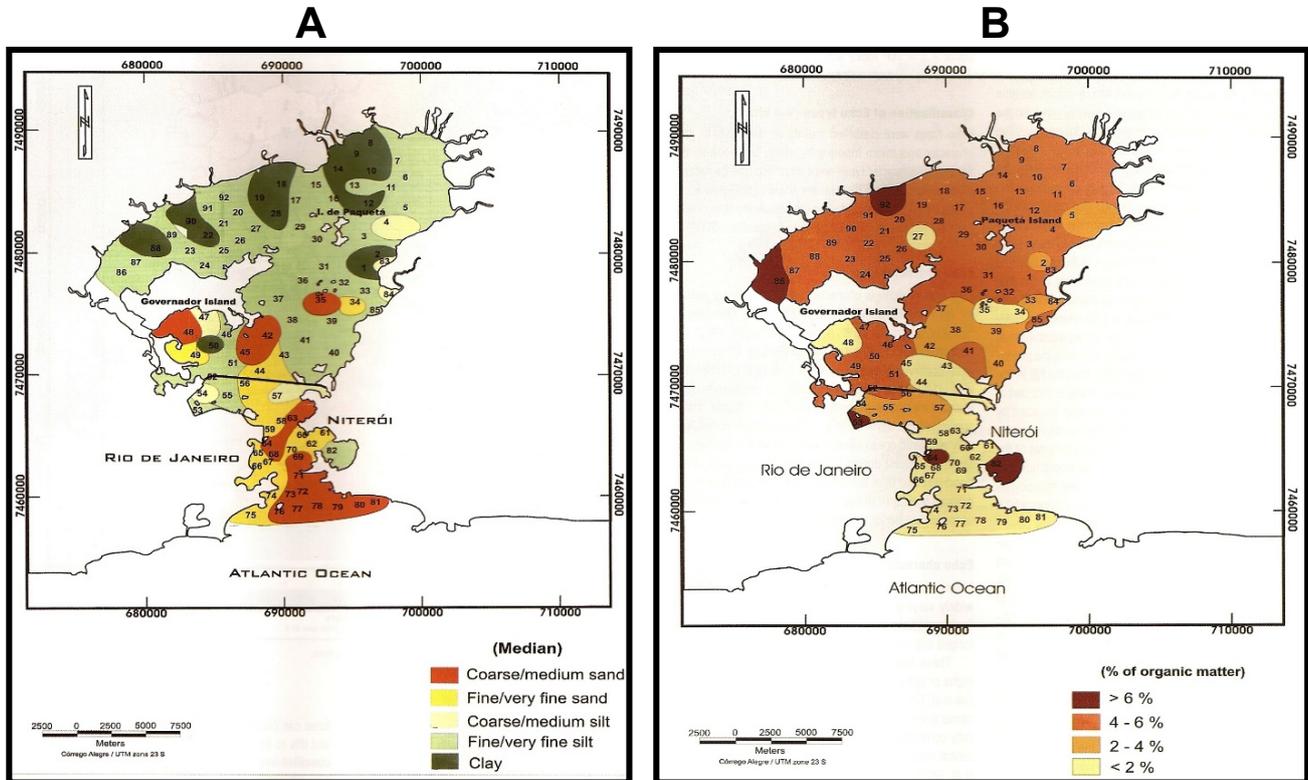


Figura 8-3. Distribuição (A) de sedimentos e (B) de percentuais de matéria orgânica.

Em um estudo específico sobre o comportamento de argilas² em dragagens no Porto do Rio de Janeiro, LIMA (1974) relata que levantamentos, através da execução de sondagens geotécnicas e análises de laboratório, demonstraram a existência de uma camada superficial, encontrada “em toda a região investigada, com espessura bastante variável, apresentando alguns bolsões, com até 6,50m de profundidade”.

Esta camada é constituída de argilas siltosas moles a muito moles, orgânicas, com eventual presença de areia, conchas e detritos vegetais, de coloração cinza escura a cinza esverdeada, que, por suas características e baixíssima consistência, pode ser classificada como lama ou vasa, sendo dignos de nota os elevados teores de umidade, superiores a 100%, aí encontrados.

² “Geotécnica Aplicada à Dragagem”, por Maria José C. Porto Alves de Lima, Monografia apresentada à Escola de Engenharia da UFRJ, em Concurso de Docência Livre, 1974.

Duas outras camadas subjacentes à primeira, ainda foram identificadas nesse estudo, ambas compostas respectivamente por argila siltosa ou arenosa, com pronunciado aumento da consistência, em função da profundidade.

LIMA (1974) considera que *“as características de escoamento e deformação do material de fundo, tanto no seu estado natural como diluído durante o processo de dragagem hidráulica, têm uma ligação direta com a sua dragabilidade”* e, por conseguinte, com a própria estabilidade desses materiais.

Quanto aos teores de umidade superiores a 100%, encontrados nas argilas siltosas existentes nessa área, CASTRO (1974) ressalta a variação volumétrica que certas argilas apresentam quando varia o seu teor em água³, lembrando que, *“pela absorção de água origina-se um aumento de volume que pode, com certos tipos de solo, assumir importantes proporções”*.

Além deste e de outros estudos técnicos e científicos, realizados por diversos autores, empresas e instituições universitárias, o INPH e a própria CDRJ, que administra o Porto do Rio de Janeiro – através de recursos técnicos próprios e/ou de contratos com a iniciativa privada ou através desta – tem buscado o pleno conhecimento do substrato da Baía de Guanabara, prioritariamente nas áreas de influência do mencionado porto, sempre focando as necessidades do projeto que esteja sendo desenvolvido no momento.

Em confirmação ao exposto, o INPH apresenta a documentação geológica que embasa o anteprojeto em apreço, grande parte dela consolidada em duas “Plantas de Integração de Dados Geofísico-Geológicos” figuras 8-4 e 8-5, sobre as quais foram analisadas, integradamente, todas as informações disponíveis e passíveis de utilização no desenvolvimento deste anteprojeto.

8.2 ANÁLISE INTEGRADA DE DADOS

Com vistas a subsidiar os diversos projetos desenvolvidos para o Porto do Rio de Janeiro, com ênfase maior naqueles relacionados a obras de dragagem e derrocagem submarina, o corpo técnico do INPH tem utilizado informações obtidas em investigações geofísicas e geotécnicas, que envolvem, sobretudo, levantamentos batimétricos, perfilagens sísmicas, imageamento do leito marinho com sonar de varredura lateral, sondagens por jet-probe,

³ “Expansibilidade, Capilaridade e Sucção”, por Elda de Castro, In: Mecânica dos Solos – Conceitos Fundamentais, Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, Lisboa, 1974.



sondagens a percussão e sondagens mistas (percussão e rotativa), além de resultados de ensaios laboratoriais, dentre outros que possam ser úteis.

Tais dados, compilados de diversas fontes e épocas distintas, são traduzidos em camadas de informações sobre uma mesma base cartográfica, gerando, assim, uma ou mais **“Plantas de Integração de Dados Geofísico-Geológicos”**, que constituem ferramentas de avaliação, adaptadas a cada projeto de engenharia desenvolvido.

Essas informações geológicas e geofísicas, apesar de muitas vezes estarem relativamente distantes no tempo em que foram coletadas, serem atinentes a fontes, metodologias e objetivos distintos de aquisição – desde que relativamente próximas do local de interesse e, ainda, sendo convenientemente tratadas e analisadas –, podem contribuir, decisivamente, à compreensão das inúmeras variáveis possíveis, associadas a tais dados.

Por padrão, a cada projeto iniciado, o INPH procura analisar, primeiramente, as informações pretéritas disponíveis em acervo, consolidando-as em plantas de integração, no intuito de verificar as eventuais necessidades de complementação desses dados e determinar as técnicas de investigação mais adequadas a serem utilizadas.

a) Batimetria

Representada em *“layer”* distinto nas Plantas de Integração, é pertinente a levantamentos realizados entre 2012 e 2018, ocupando toda a área de interesse ao projeto, servindo à visualização das últimas informações disponíveis em acervo.

b) Perfilagem Sísmica Contínua

São representados valores de profundidades dos diversos refletores acústicos interpretados – Refletor A, Refletor B e Embasamento Acústico –, que podem fornecer subsídios à compreensão do substrato nas áreas de interesse, conforme indicadas nas respectivas Plantas de Integração.

c) Sondagens Executadas

São lançadas em Planta de Integração as posições de sondagens por jet-probe, percussão e mistas, disponíveis em acervo, utilizadas no presente trabalho, analisando-se as relações entre a natureza dos solos e rochas perfurados, bem como indicadores geotécnicos diversos, como grau de alteração, fragmentação, RQD e outros, para fins de dimensionamento do projeto.

Essas sondagens, além de terem a sua posição definida nas Plantas de Integração,



também estão incorporadas a este relatório, em boletins descritivos anexos.

A seguir, são apresentadas as Figura 8-4 e 8-5, correspondentes às plantas de integração de dados geofísico-geológicos, que subsidiou a determinação interpolada dos contornos estruturais das superfícies de sedimentos de alta resistência e do embasamento rochoso.

Como tais superfícies foram geradas, por vezes, a partir de informações pouco consistentes ou mesmo insuficientes, o INPH recomenda fortemente que estas sejam refinadas, com base em estudos e levantamentos complementares, que subsidiarão, com maior nível de detalhe, os Projetos Básico e Executivo da obra.

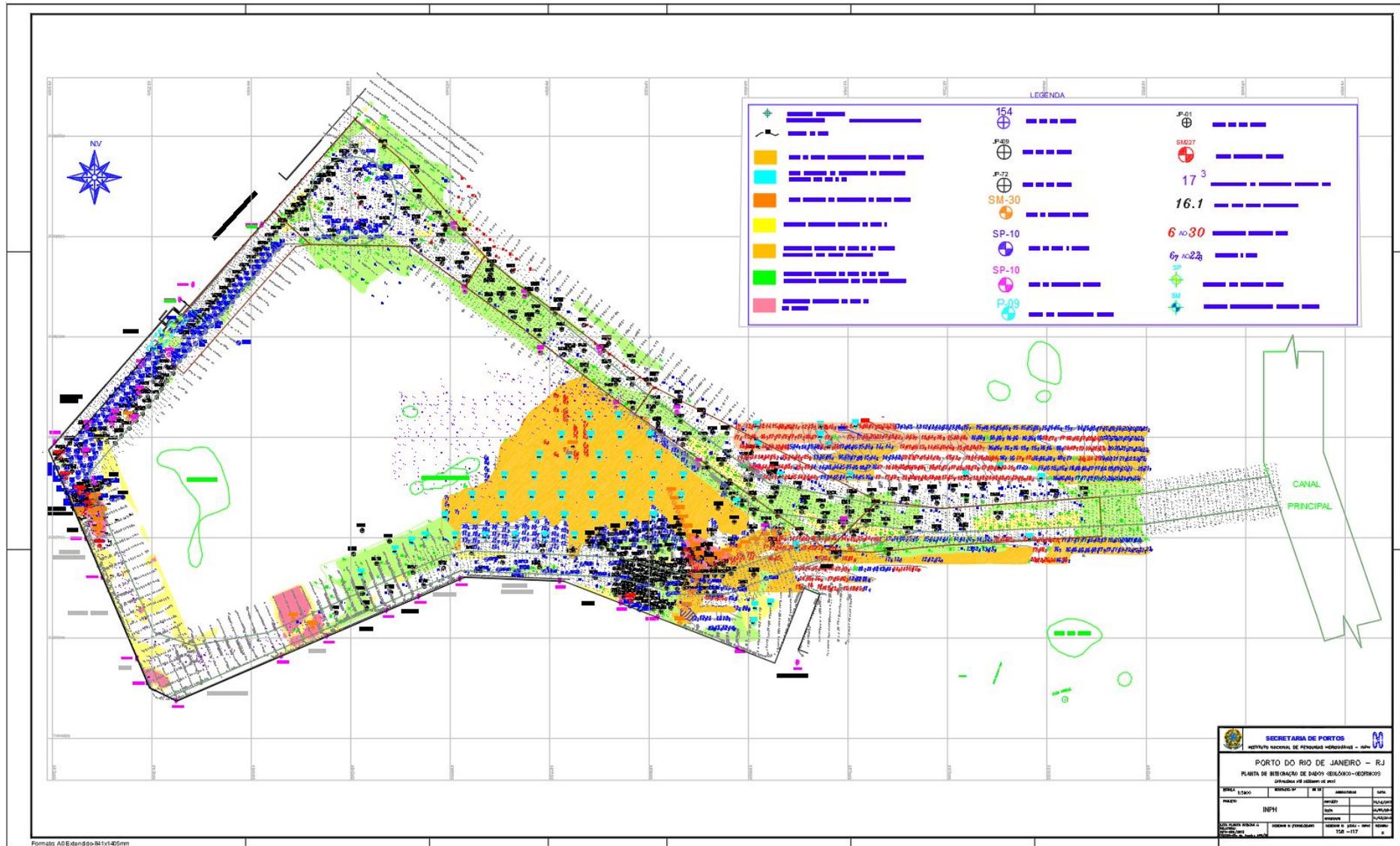


Figura 8-4. Planta de Integração de Dados Geofísico-Geológicos (INPH-158-117 /Material Duro).

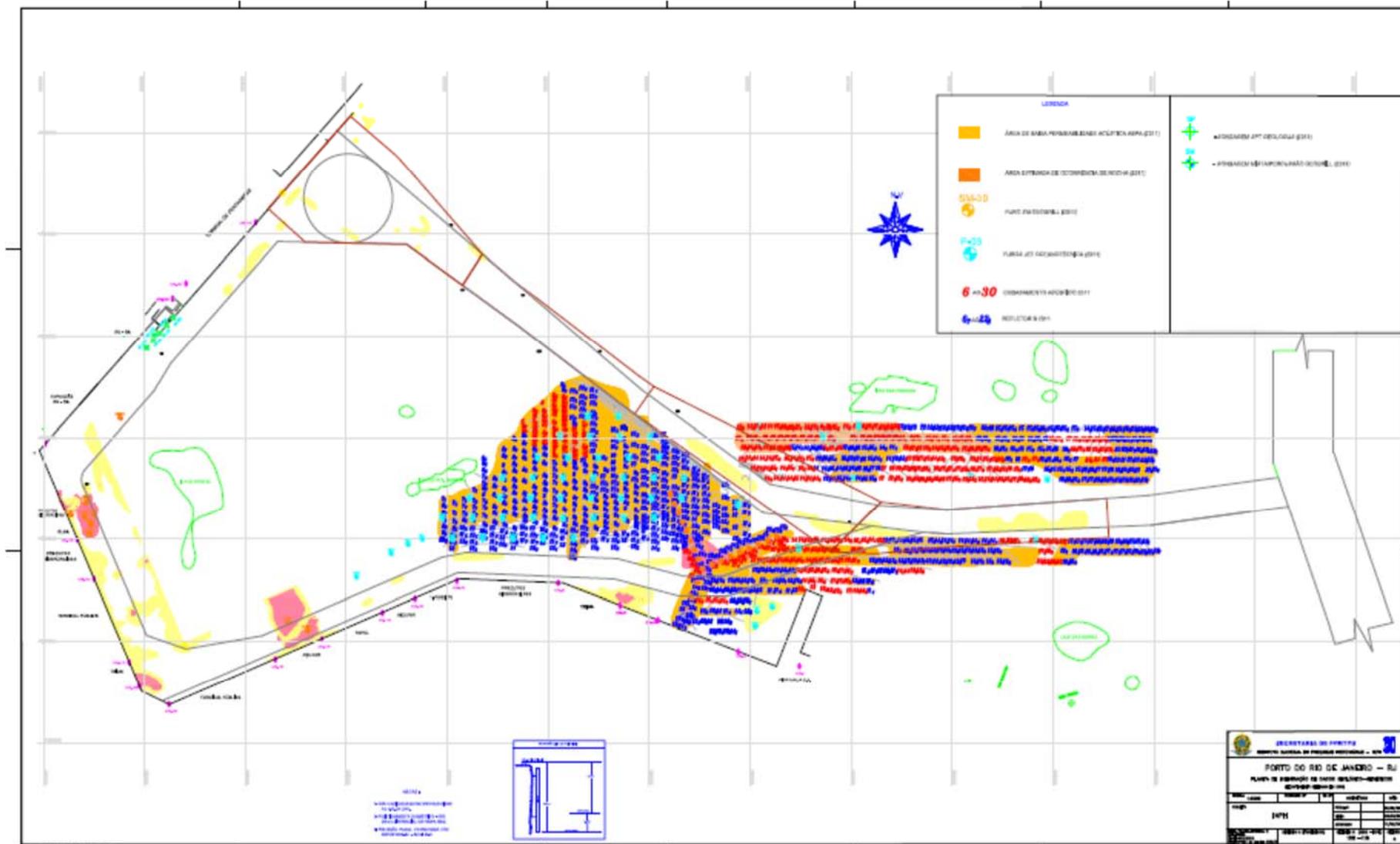


Figura 8-5. Planta de Integração de Dados Geofísico-Geológicos (INPH 158-116).

8.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todas as informações reunidas pelo INPH, ao longo dos anos, confirmam os dados regionais extraídos da literatura técnica, sobretudo aqueles relacionados à área de influência do Porto do Rio de Janeiro e seus acessos.

O arcabouço geológico, presente na Baía de Guanabara e, particularmente, nas áreas do Porto do Rio de Janeiro, é basicamente constituído por gnaisses e migmatitos – que, de maneira simples e geral, podem ser descritos como rochas que guardam, localmente, características de um gnaiss ou de um granito –, com eventuais intrusões de veios pegmatíticos ou de rochas de natureza básica, como basaltos e diabásios.

Neste particular, os tipos litológicos encontrados no Porto do Rio de Janeiro – compostos de rochas extremamente duras – se diferenciam, e muito, de outros tipos litológicos mais brandos e até friáveis, tais como xistos, arenitos, folhelhos e siltitos, que podem ser comparados, algumas vezes, aos eventuais horizontes intemperizados de rochas de origem granítica ou gnáissica, bastante comuns em países tropicais e com as condições climáticas próprias do nosso País.

O fato é que, na natureza, inúmeras questões relacionadas à execução de um projeto de engenharia, tais como o tipo e composição do substrato, suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, dentre tantas outras, devem ser integradamente consideradas e avaliadas.

Embora, na maior parte das vezes, uma área investigada através de métodos geofísicos, possa apresentar características acústicas e morfológicas associáveis ao embasamento rochoso e/ou a outros refletores relevantes, é sempre desejável correlacioná-lo antes com dados geotécnicos e/ou oriundos de levantamentos geofísicos suplementares, que reforcem as análises previamente efetuadas.

Isto porque métodos de investigação indireta, como os geofísicos, não possuem a capacidade de, apenas por si, garantirem uma correlação fácil e efetivamente percebível com as camadas geológicas existentes abaixo de superfícies, cobertas por água ou não.

Anomalias acústicas e outras feições interpretadas em registros sísmicos, tais como linhas que definem o topo do embasamento acústico ou outros refletores, áreas dragadas e/ou de baixa permeabilidade acústica, estão prioritariamente associadas, segundo Meyer, Lessa

& Ramos⁽⁴⁾, a “*um ou mais campos de força físicos, que devem, posteriormente, ser traduzidas em termos geológicos*”.

Estes autores lembram, ainda, que a “*geofísica não localiza corpos geológicos definidos e específicos, mas fornece somente a distribuição de determinados parâmetros físicos, que deve ser interpretada em termos geológicos, muitas vezes de maneira conservadora*”, e que, em virtude “*dos fenômenos geológicos serem, geralmente, gradacionais através de todos os graus e entre amplos limites, impõe-se a necessidade de calibração desses dados físicos, através do conhecimento de um número suficiente das variáveis geológicas da área em estudo*”.

Isto quer dizer que não existe, necessariamente, uma correspondência biunívoca entre dados geofísicos e geológicos, pois os parâmetros físicos atuantes num determinado meio (camada de solo) atravessado por ondas acústicas, comumente oferecem uma resposta diversa à análise puramente geológica desse mesmo meio, levando à necessidade de correlacionar, da forma mais criteriosa possível, inúmeras variáveis a fim de alcançar conclusões satisfatórias.

Tal fato, aliado à natural e óbvia dificuldade para a realização e interpretação de resultados de investigações em áreas cobertas por água, são as principais razões para que o INPH usualmente insista na utilização e correlação de tantas informações, algumas vezes aparentemente díspares.

Os dados disponíveis, normalmente compilados de diversas fontes e épocas distintas, são traduzidos em camadas de informações sobre uma mesma base cartográfica, o que permite a avaliação integrada dos dados geológicos preexistentes, à luz do projeto em voga, proporcionando uma melhor compreensão do solo e subsolo marinhos, economia em levantamentos desnecessários e maior objetividade nos estudos que, apesar desses cuidados, ainda sejam primordiais.

Concluindo a exposição acima, importa ressaltar que, apesar de todos os cuidados e estudos criteriosos efetuados em apoio a um projeto, sempre ainda poderá restar alguma inconsistência, que deve ser convenientemente avaliada e considerada na definição de índices de segurança, sobretudo por ocasião da elaboração dos Projetos Básico e Executivo.

A exemplo do que ocorre com os refletores sísmicos interpretados – que obedecem a leis

⁽⁴⁾ Meyer, V.L.O., Lessa, G. & Ramos, R.G.N., *Geofísica Aplicada à Engenharia Civil: Algumas Considerações*, In: 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, ABGE, Anais (Vol. 1, pp. 199-208), Rio de Janeiro-RJ, 1976.

e condicionantes físicas específicas –, a estratigrafia dos horizontes geológicos, determinados em sondagens por jet-probe, a percussão ou mistas, representam, evidentemente, apenas uma indicação provável destes horizontes, constatados nas verticais de cada sondagem, devendo-se avaliar com cautela a necessidade de eventuais inferências em áreas onde não haja ocorrido a execução de sondagens e/ou em que os dados disponíveis sejam inconclusivos.

Na verdade, todo o material analisado compõe um mosaico de levantamentos de diferentes épocas e origens, e que, algumas vezes, não se completa da forma ideal, ora se concentrando em um trecho da área, ora rareando em outros, prejudicando o perfeito conhecimento do substrato na região.

Como é possível inferir, pela simples observação das plantas de integração de dados – e ainda foi possível verificar, na análise integrada efetuada pela equipe do INPH –, partes da área de projeto carecem de informação ou possuem dados desatualizados e pouco consistentes, não elucidando, plenamente, quanto à possível ocorrência de interferências (rochas e sedimentos de elevada resistência) ao projeto de aprofundamento pretendido, o que prejudica a adequada definição das metodologias de remoção.

A determinação das características geotécnicas desses materiais, bem como sua ocorrência, localização e quantificação, dependem de estudos complementares mais abrangentes, integrados e também mais detalhados, que incluam o uso associado de equipamentos capazes de efetuar levantamentos batimétricos mono e multifeixe, imageamento de fundo com sonar de varredura lateral (frequência de operação de 300KHz ou maior) e perfilagem sísmica com Boomer (frequências de operação entre 0,5KHz e 2,5KHz) e Chirp (frequências de operação entre 2KHz e 18KHz).

Após o processamento e análise integrada desses estudos, deve ser adicionada, onde necessária, a execução de sondagens com metodologia jet-probe, subsidiariamente a sondagens a percussão e/ou rotativa, programando-se os respectivos ensaios geotécnicos apropriados – em campo e em laboratório – com base nas normas nacionais e internacionais cabíveis.

Tais estudos complementares devem ser executados não apenas nos locais onde detectados materiais de maior resistência, mas ainda nas faixas do canal de acesso e bacia de evolução com profundidades mais rasas do que a cota de projeto.

Tendo em conta a existência dessas áreas com informação pouco conclusiva, sobretudo aquelas não plenamente atendidas pelos levantamentos disponibilizados, foi estabelecida



a programação geral de investigações mínimas recomendadas, descrita na Tabela 8-1, a seguir, que, entretanto, deverá, se necessário, sofrer modificações no decorrer das investigações, de acordo com a análise dinâmica e preliminar dos resultados, e ainda sem prejuízo de quaisquer outros que a Contratada entender como necessários, nessas e demais áreas de projeto.

Tabela 8-1. Programação Geral de Investigações Mínimas Recomendadas.

Estudos Sugeridos	Batimetria Multifeixe (LH-Pré)
	Perfilagem Sísmica (Boomer + Chirp + Batimetria Monofeixe)
	Sonar de Varredura Lateral
	Sondagens Jet-Probe
	Sondagens a Percussão e Rotativas (onde necessárias)
	Ensaaios em Laboratório (onde necessários)



9 NAVIO TIPO DE PROJETO

O dimensionamento geométrico, feito a partir dos critérios que serão apresentados a seguir, faz uso das dimensões do navio tipo como base para os cálculos (Tabela 9-1).

Tabela 9-1. Principais dimensões do navio tipo.

Navio	Comprimento (m) LOA	Boca (m)	Calado (m)
CONTAINER	366	52	15,3

10 DIMENSIONAMENTO DO CANAL DE ACESSO

A geometria do novo canal de acesso ao cais do Tecon do Porto do Rio de Janeiro/RJ foi proposto pela Administração Portuária e foi desenvolvida a partir das necessidades de expansão do berço para NE, a ampliação da bacia de manobras e alargamento da bacia dos berços para comportar o navio de projeto assim como adequação da boca de entrada do canal de acesso ao Porto comportar calados aéreos mais altos, a nova geometria foi verificada e ajustada através de Simulação Computacional em Tempo Real realizada no Tanque de Provas Numérico – TPN USP. A geometria resultante está materializada no projeto PRJ_GEO_2020_11_11 encaminhado juntamente com os respectivos relatórios de projeto e simulação, e está ilustrada na figura 10-1 abaixo.

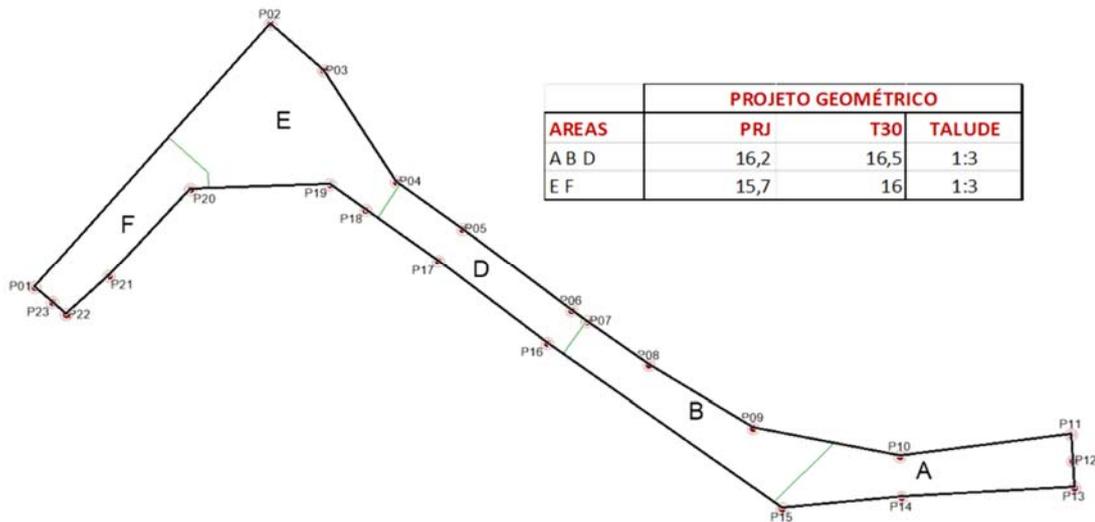


Figura 10-1. Nova geometria do canal de acesso ao TECON do Porto do Rio de Janeiro apresentada no projeto PRJ_GEO_2020_11_11.

A geometria apresentada foi fruto de análise deste instituto, assim com o relatório de simulações realizado, conforme o Ofício nº 025 / 2021– INPH, de 01/07/2021.

11 QUANTIFICAÇÃO DOS VOLUMES A SEREM DRAGADOS

Em função dos estudos analisados foi quantificado o volume a dragar através do software Surfer, desenvolvido pela Golden Software. As áreas de dragagem e seus respectivos volumes, parâmetros de cálculo e distâncias de transporte de material dragado até a área de disposição autorizada estão assim discriminados na Tabela 11-1.

Tabela 11-1. Planilha de Volumes de Dragagem

Porto de Rio de Janeiro - RJ							
Áreas	Cota (m)	Tol. (m)	DMT (MN)	Volume Projeto (m ³)	Volume Tol. (m ³)	Volume Total (m ³)	Talude
Canal e Bacia - Hopper	-16,2/-15,7	0,3	16,4	428.491	324.285	752.777	01:03
Can, Bac e Berços - Backhoe	-15,7	0,3	16,4	1.413.973	94.813	1.508.786	01:03
Derrocagem	-16,4	1		1.665	3318	4983	1:0
TOTAL						2.266.546	

As áreas consideradas para dragagem com dragas backhoe, e respectivo cálculo de volumes, são áreas ao longo de toda a geometria de dragagem, onde foram identificados materiais resistentes, tais como argila rija, tabatinga e rocha alterada, de acordo com os dados disponíveis no acervo do INPH, e deverão ser melhor definidas nas fases de projeto básico e executivo.

Da mesma forma, foram definidos os volumes de derrocagem, que deverão ser cuidadosamente investigados e confirmados durante as fases posteriores do projeto (Projetos Básico e Executivo).

12 ESPECIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS A SEREM UTILIZADOS

De acordo com as características sugere-se a utilização dos seguintes equipamentos de dragagem e derrocagem:

12.1 DRAGA AUTOTRANSPORTADORA

A Draga Autotransportadora executará seus serviços nas áreas: Canal de Acesso e bacia de manobras, totalizando um volume estimado de 752.777 m³.

Características

Capacidade nominal da cisterna: 7.700 m³.

Velocidade média de transporte: 10 MN/h

Potência total instalada: 10.950 kW

12.2 DRAGA BACKHOE (retroescavadeira autopropulsada) + 2 BATELÕES DE CARGA AUTOPROPULSADOS

A Draga Backhoe executará seus serviços nas áreas: Berços, conforme descrito acima, e no restante da área onde forem identificados materiais resistentes não passíveis de remoção com a draga autotransportadora. Foi estimado um volume total de 1.508.786 m³.

Características (1 Draga Backhoe)

Capacidade nominal da caçamba: 25 m³

Potência total instalada: 3.800 kW

Características (2 Batelões de Carga Autopropulsado)

Capacidade nominal da cisterna: 2.000 m³.

Velocidade média de transporte: 9 MN/h

Potência total instalada: 1.450 kW

12.3 DERROCAGEM

Os equipamentos de derrocagem deverão ser definidos nas fases de projeto básico e executivo e deverão atuar onde for comprovada a existência de substrato rochoso não passível de remoção por draga tipo backhoe. Foi estimado um volume total de 4.983m³, a ser confirmado pelos estudos a serem realizados.



ANEXOS

