



**Consultoria e Projetos  
de Engenharia Ltda**

## **ESTUDO AMBIENTAL**

### **DRAGAGEM DO ACESSO AO CANAL DO TOMBA CARAVELAS/BA**



**Relatório Técnico HM RT-007-08**

**VOLUME 3/10**

**Caravelas, abril de 2008**

## **5.1.6 Assoreamento e Previsão de Dragagem de Manutenção**

### **5.1.6.1 Introdução**

Todo porto, terminal marítimo ou canal navegável precisa manter condições adequadas e seguras ao desenvolvimento das atividades de navegação. Na maioria das vezes, manter tais condições implica na realização de dragagens de manutenção com o objetivo de combater o assoreamento e garantir as dimensões necessárias ao gabarito geométrico de navegação.

Recentemente, o acesso ao canal do Tomba pôde ser considerado implantado como demanda o projeto (veja item 3.6). Uma vez implantado o acesso ao Canal do Tomba, são necessárias dragagens regulares de manutenção. Estas dragagens de manutenção têm como objetivo retirar da cava do canal os sedimentos depositados entre os períodos de dragagem, sedimentos oriundos dos processos litorâneos da região (veja item 5.1.5). Na dragagem do Canal do Tomba, a atividade de dragagem de manutenção prevista é anual e de duração curta. Obviamente, a duração exata é dependente de alguns fatores, como por exemplo, o volume do material a ser dragado e as condições de vento e agitação marítima. No item 3.6 estimam-se os tempos de duração para dragagem entre 2 a 4 meses anualmente.

### **5.1.6.2 Identificação, mapeamento dos locais que apresentam assoreamento na área de influência direta do empreendimento, assim como possíveis implicações nos processos de circulação costeiros**

O item 5.1.5 discute em detalhe as regiões do canal que mais sofrem com o assoreamento e seus processos litorâneos associados. Abaixo, apresentam-se resumidamente as áreas problemáticas do canal relativamente ao assoreamento:

- Seções de 2.000 a 3.800 m, região em que o canal dragado corta o delta de maré vazante. Nesta região o assoreamento está principalmente relacionado com a migração do canal e com o aporte de sedimentos oriundo dos bancos do delta de maré vazante e da deriva litorânea que carrega os sedimentos provenientes da linha de costa da Ilha do Cassurubá. Nesta região o assoreamento é essencialmente arenoso.
- À partir da seção 3.800 m para a extremidade do canal ao largo, região fora dos limites do delta de maré vazante. Nesta região o aprofundamento causado pelo canal de acesso, combinado com as menores correntes de

maré, possibilita a deposição de sedimentos de granulometria baixa, essencialmente lamosos.

Pode-se considerar que o trecho do delta é o mais crítico. Enquanto que no trecho ao largo do canal o assoreamento é de sedimentos finos e ocorre de uma forma uniforme, no trecho do delta o assoreamento é pouco uniforme, principalmente devido aos efeitos de migração do canal, que além de causarem reduções de profundidade também reduzem a largura da seção navegável do canal.

A Planta 01 do anexo R apresenta a subtração da batimetria da região entre a condição de pós-dragagem de abril de 2007 e a condição em novembro de 2007 (batimetria de nov/2007 subtraída da de abr/2007). Através desta planta pode-se observar quantitativamente os pontos de assoreamento que o canal sofreu neste período de aproximadamente 6 meses sem ocorrência de dragagem.

Durante este período, foi detectado um assoreamento correspondente de aproximadamente 72.000 m<sup>3</sup>.

Observa-se que os pontos de maior elevação devido ao assoreamento encontram-se no trecho crítico do delta de maré vazante, que ocorrem de forma mais localizada preferencialmente nos taludes e suas proximidades. Mais ao largo do delta, observa-se um assoreamento mais uniforme e de menor espessura, porém cobrindo uma área muito maior, que como comentado consiste em sedimentos basicamente lamosos.

### **5.1.6.3 Caracterização do material dragado**

Durante o decorrer do empreendimento, diversas amostragens e análises sedimentológicas foram realizadas. Neste item são utilizadas as amostras realizadas por Jet-Probe dos dias 5 e 6 de maio de 2000, 17 e 18 de junho de 2000 e dados de duas campanhas de amostragem de testemunhos realizadas recentemente em 29 a 31 de julho de 2005 e entre os dias 10 e 11 de fevereiro de 2006.

A razão da utilização destas três bases de dados reside nos seguintes fatos:

- A campanha com Jet-Probe permite uma caracterização de sedimentos até maiores profundidades e permite entender como era a região antes das obras de dragagem, além de se estender por uma área grande ao entorno do canal;
- A utilização de ambas as campanhas com testemunhos é necessária, pois em 2006 a cobertura de pontos foi estrategicamente posicionada ao longo do Canal, com menor abrangência de área e em 2005 foi realizada uma ampla investigação (60 testemunhos com 153 sub-amostras analisadas), com uma

cobertura maior de pontos tanto no interior como no entorno do canal. A análise dos testemunhos embora não chegue a grandes profundidades permite avaliar melhor a estruturas sedimentares não perturbadas ao longo da coluna, o que não é possível no ensaio de Jet-Probe.

Salienta-se que o número de amostras para a caracterização de sedimentos e sua classificação granulométrica supera ao solicitado nas Tabelas I e II do Anexo da Resolução CONAMA 344/04.

#### 5.1.6.3.1 Metodologia do “Jet-Probe”

A metodologia da campanha de “Jet-Probe” realizada no ano 2000 é apresentada em CEPEMAR (2001).

A Figura 5.1.6-1 mostra um detalhe da batimetria do delta de maré vazante com a localização dos 35 furos realizados com o método do "jet-probe".

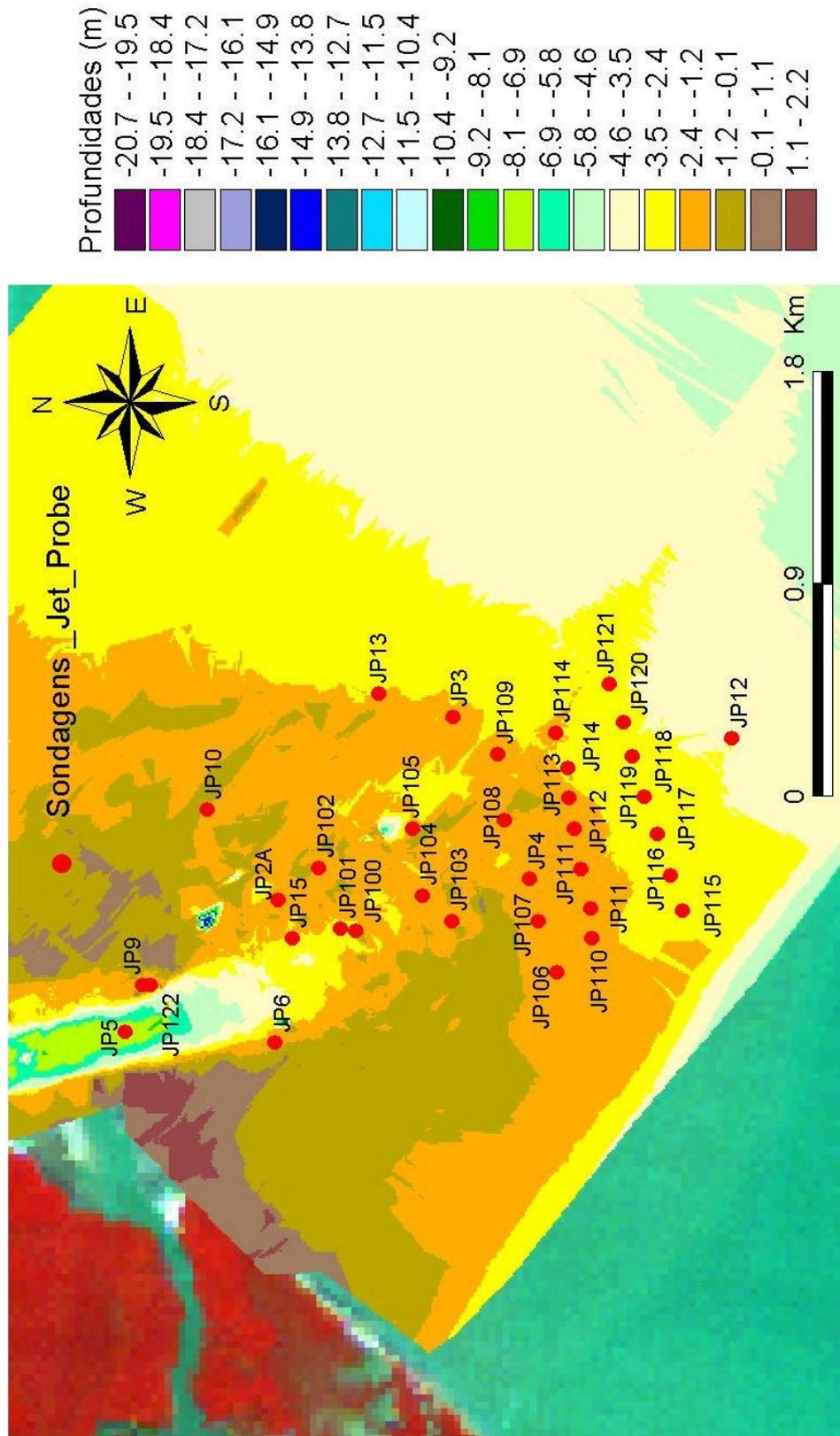


Figura 5.1.6-1 - Batimetria do delta de maré vazante com a localização dos 35 furos

### 5.1.6.3.2 Metodologia de Análise dos Testemunhos

#### 5.1.6.3.2.1 Procedimentos de Campo

Para o correto posicionamento da embarcação durante as amostragens, utilizou-se um equipamento GPS diferencial, o qual utiliza sinal de correção diferencial por banda L fornecido pela Omnistar, possibilitando uma precisão submétrica no posicionamento.

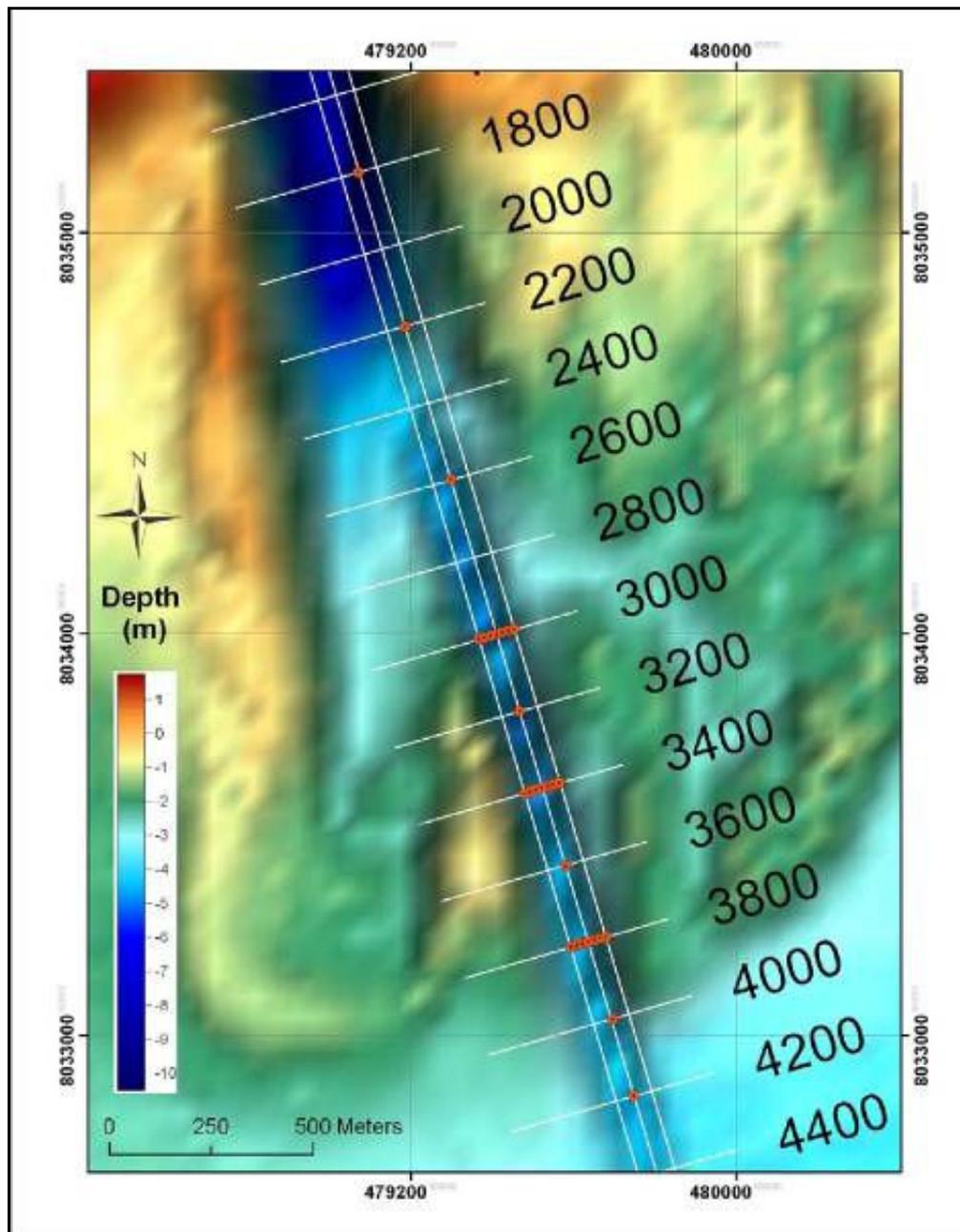
As amostras foram coletadas por um mergulhador especializado que utilizou um testemunhador do tipo “core” (01 metro de comprimento e 10 cm de diâmetro).

As coordenadas dos pontos de coleta da malha amostral de 2006 são apresentadas na Tabela 5.1.6-1, juntamente com as profundidades do local, reduzidas ao nível de redução da DHN. Na campanha de 2006, foram coletados 28 (vinte e oito) testemunhos. Na Figura 5.1.6-2 apresenta-se a localização dos pontos de amostragem em 2006.

A planta 2 do anexo R apresenta a localização de todos os pontos de coletas de testemunhos, das campanhas de 2005 e 2006. Maior detalhamento da campanha de 2005 é apresentado por Campbell, *et al.*, (2005).

**Tabela 5.1.6-1 - Coordenadas e profundidades dos pontos de coleta dos testemunhos na campanha de 2006 – Interior do canal dragado (Datum WGS 84)**

AMOSTRA	Este	Norte	Prof. (m)	AMOSTRA	Este	Norte	Prof. (m)
1	479296.30	8034384.60	4,50	22	479521.90	8033616.00	4,55
2	479409.50	8034000.60	4,70	22A	479593.30	8033219.80	4,10
2A	479478.80	8033603.30	4,08	22B	479607.70	8033224.00	4,26
2B	479493.20	8033607.60	4,45	22C	479622.10	8033228.20	4,25
2C	479507.50	8033611.80	5,00	22D	479650.90	8033236.70	3,88
2D	479536.30	8033620.20	4,35	22E	479665.30	8033240.90	3,60
2E	479550.70	8033624.50	3,72	22F	479679.70	8033245.20	3,30
2F	479565.10	8033628.70	3,23	27	479636.50	8033232.50	4,2
3	479697.90	8033039.80	4,10	27A	479366.40	8033987.90	4,48
4	479580.50	8033423.40	4,60	27B	479380.70	8033992.10	4,60
5	479748.80	8032849.40	4,50	27C	479395.10	8033996.40	4,80
10	479071.10	8035151.50	6,25	27D	479423.90	8034004.80	4,15
14	479186.40	8034766.50	4,50	27E	479438.30	8034009.00	3,38
19	479467.10	8033807.80	4,72	27F	479452.70	8034013.30	3,20



**Figura 5.1.6-2 - Localização dos pontos de amostragem em 2006 (veja mapa amostral completo na planta 2 do Anexo R)**

Após a coleta, ainda no campo, realizou-se a abertura dos tubos (cores), possibilitando a identificação das fácies dos testemunhos coletados pelas características sedimentológicas visualmente identificáveis, tais como a coloração e a textura.

Após a identificação e individualização das amostras para as análises laboratoriais, foram obtidos registros fotográficos dos testemunhos e sub-amostras.

As sub-amostras, no total de 69 para a campanha de 2006 e de 153 para a campanha de 2005, foram acondicionadas em sacolas plásticas identificadas e levadas ao Laboratório de Sedimentologia da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, onde executou-se a devida análise sedimentológica.

#### **5.1.6.3.2.2 Análise Laboratorial**

Os sedimentos passaram por uma preparação prévia, a qual consiste na retirada dos sais, secagem, quarteamento e pesagem de 20 g e 50 g.

Com os 20 g obtêm-se os teores de carbonato ( $\text{CaCO}_3$ ) pela dissolução do material com ácido clorídrico (HCl). A diferença entre o peso inicial e final é calculada e assim estimada a percentagem da fração carbonática.

Com os 50 g é realizada a análise granulométrica, o que consistiu-se na técnica de peneiramento a seco para a fração grossa, conforme descrito por Suguio (1973) e na quantificação dos teores de lama pela separação via úmida, que consiste na separação em água corrente sobre a peneira de 0,062mm ( $4\Phi$ ).

Os teores de lama são obtidos pela diferença entre o peso da amostra, já sem a matéria orgânica, antes e pós a separação por via úmida.

Para a determinação dos parâmetros estatísticos que caracterizam as distribuições granulométricas foi adotada a metodologia proposta por Folk e Ward (1957), onde os valores para o cálculo de tais parâmetros são obtidos através da determinação de percentis a partir da curva granulométrica acumulada traçada em gráfico de probabilidade aritmética. Os diâmetros dos sedimentos são expressos em escala  $\phi$  ( $\Phi$ ), introduzida por Krumbein (1934), que transforma a progressão geométrica de razão dois, dos intervalos das classes texturais expressas em mm, onde  $\phi = -\log_2 D$ , (Tabela 5.1.6-2), o que representa mais adequadamente a tendência de distribuição log-normal dos sedimentos.

A análise estatística da distribuição granulométrica foi realizada utilizando-se um programa livre de análises granulométricas GRADISTAT (V.4,0), desenvolvido por Simon Blott em 2000, membro do departamento de geologia da Universidade de Londres (UK).

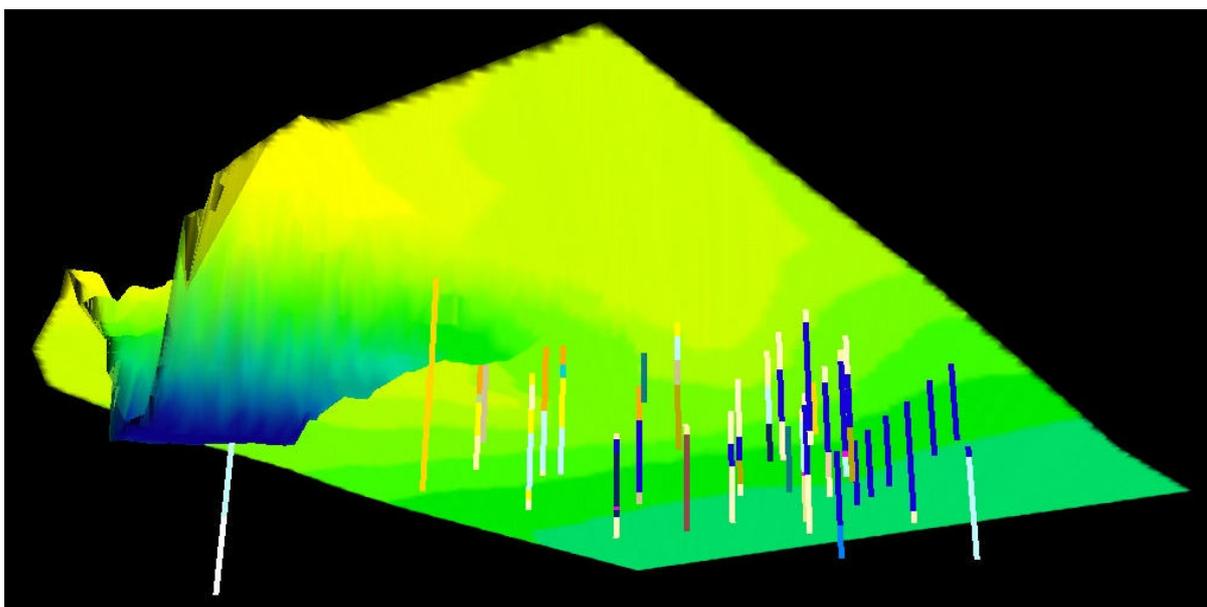
**Tabela 5.1.6-2 - Intervalos de classes estabelecidos por WENTWORTH (1922)**

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>	<b>fi <math>\Phi</math></b>	<b>(mm)</b>
Areia muito grossa	-1 a 0	2 a 1
Areia grossa	0 a 1	1 a 0,5
Areia média	1 a 2	0,5 a 0,25
Areia fina	2 a 3	0,25 a 0,125
Areia muito fina	3 a 4	0,125 a 0,062
Silte grosso	4 a 5	0,062 a 0,031
Silte médio	5 a 6	0,031 a 0,016
Silte fino	6 a 7	0,016 a 0,008
Silte muito fino	7 a 8	0,008 a 0,004
Argila	8 a 12	0,004 a 0,0002

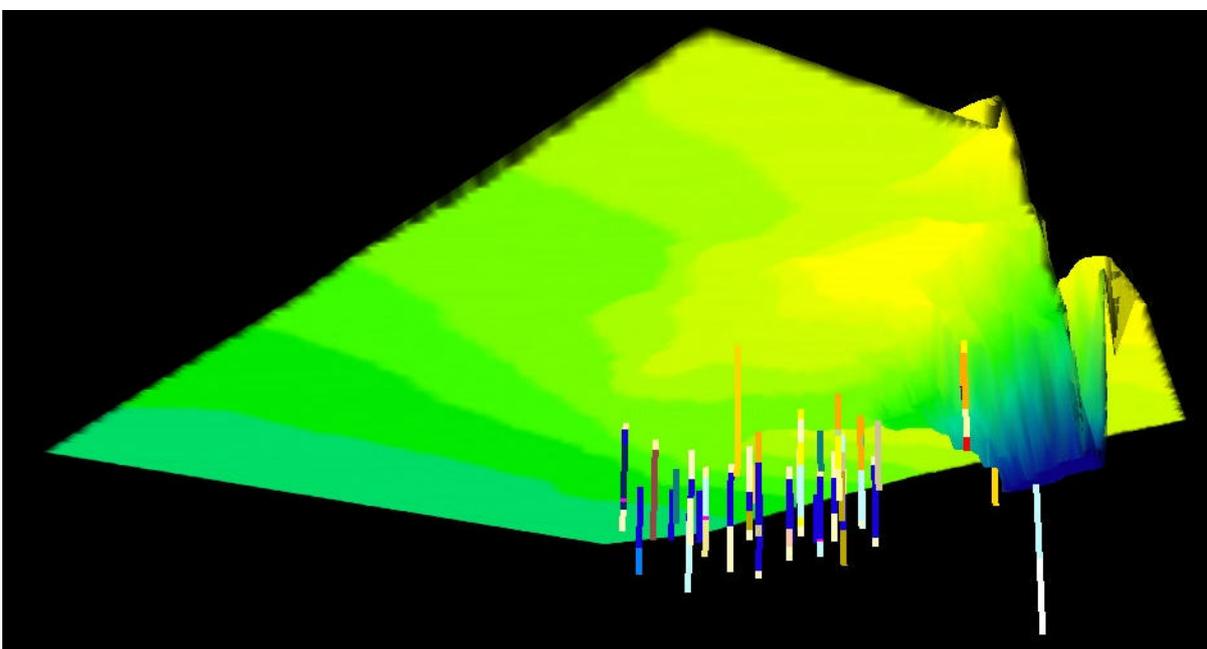
### 5.1.6.3.3 Resultados

#### 5.1.6.3.3.1 Jet-Probe

Os resultados são apresentados na Figura 5.1.6-3 e Figura 5.1.6-4, nas quais apresenta-se uma visualização tridimensional destes furos. É interessante notar que o furo JP-5 efetuado no canal do Tomba, provavelmente alcançou o Grupo Barreiras.



**Figura 5.1.6-3 - Vista tridimensional do fundo submarino no delta de maré vazante associado à Barra do Tomba (visada inferior). As barras verticais coloridas correspondem às sondagens realizadas pelo método do "jet-probe". Os tons de azul correspondem à sedimentos lamosos enquanto os tons em amarelo e laranja representam sedimentos arenosos**



**Figura 5.1.6-4 - Vista tridimensional do fundo submarino no delta de maré vazante associado à Barra do Tomba (visada inferior). As barras verticais coloridas correspondem às sondagens realizadas pelo método do "Jet-probe". Os tons de azul correspondem à sedimentos lamosos enquanto os tons em amarelo e laranja representam sedimentos arenosos**

#### 5.1.6.3.3.2 Testemunhos

Os resultados das análises laboratoriais da campanha de 2006 são apresentados de forma sintetizada na Tabela 5.1.6-3, Tabela 5.1.6-4 e na Tabela 5.1.6-5 abaixo, as quais apresentam os teores de carbonato e classificação granulométrica das sub-amostras analisadas. As análises foram realizadas depois da retirada da amostra das frações com  $\phi$  maiores que quatro (aqui considerados como lamas).

Os resultados completos da campanha de 2005 são apresentados por Campbell, *et al.*, (2005).

Ressalta-se que os teores de carbonatos foram determinados nas amostras onde este material estava visualmente presente durante a classificação de campo. Nas demais estações a presença de carbonato foi considerada inexistente.

**Tabela 5.1.6-3 - Teores de carbonato e classificação granulométrica dos sedimentos**

Amostra	% CaCO <sub>3</sub>	% lama	Diâmetro médio (Mz)	Seleção (fi)	Assimetria (fi)	Achatamento (fi)
1 I	-	58,94	0,94 areia grossa	0,97 moderada	0,23 lado d/ finos	1,13 Leptocúrtica
1 II	-	0,35	-0,19 areia muito grossa	0,71 moderada	-0,10 lado d/ grossos	1,18 Leptocúrtica
1 IV	11,36	43,69	3,76 areia muito fina	0,23 muito boa	-0,57 lado dos grossos	2,26 muito Lept.
2 I	-	92,82	2,75 areia fina	0,78 moderada	-0,23 lado dos grossos	1,43 Leptocúrtica
2 II	-	91,33	2,90 areia fina	0,91 moderada	-0,45 lado d/ grossos	1,41 Leptocúrtica
2 VII	-	76,51	3,803 areia muito fina	0,185 muito boa	-0,457 lado d/ grossos	1,908 muito Lept.
2A II	-	50,9	2,694 areia fina	0,416 boa	-0,154 lado d/ grossos	1,217 Leptocúrtica
2A IX	-	89,83	2,69 areia fina	0,75 moderada	-0,36 lado d/ grossos	1,95 muito Lept.
2B I	7,57	0,43	0,707 areia grossa	1,002 pobre	0,046 simétrica	1,079 Mesocúrtica
2B II	-	84,50	2,43 areia fina	1,50 pobre	-0,56 lado d/ grossos	0,88 Platicúrtica
2B VII	-	94,01	3,03 areia muito fina	0,91 moderada	-0,36 lado d/ grossos	1,51 muito Lept.
2C I	-	95,73	3,03 areia muito fina	0,61 mod. a boa	-0,11 lado d/ grossos	1,27 Leptocúrtica
2C II	-	73,38	2,96 areia fina	0,50 mod. a boa	0,02 simétrica	1,38 Leptocúrtica
2C VI	-	90,73	3,19 areia muito fina	0,61 mod. a boa	-0,21 lado d/ grossos	1,81 muito Lept.
2D I	-	68,02	1,24 areia média	1,26 pobre	-0,02 simétrica	0,91 Mesocúrtica
2D VI	-	90,51	3,19 areia muito fina	0,55 mod. a boa	-0,01 simétrica	0,99 Mesocúrtica
2E I	-	84,87	2,92 areia fina	0,49 boa	0,19 lado dos finos	1,28 Leptocúrtica
2E II	-	97,27	3,424 areia muito fina	0,651 mod. a boa	-0,652 lado d/ grossos	1,382 Leptocúrtica
2F I	-	70,43	2,51 areia fina	0,64 mod. a boa	-0,008 simétrica	1,21 Leptocúrtica
2F II	-	99,26	2,936 areia fina	1,402 pobre	-0,634 lado d/ grossos	1,982 muito Lept.
3 I	-	86,63	2,75 areia fina	0,45 boa	0,02 simétrica	1,34 Leptocúrtica
3 IX	-	53,18	2,365 areia fina	1,156 pobre	-0,584 lado d/ grossos	1,634 muito Lept.
4 II	-	92,25	2,84 areia fina	1,10 pobre	-0,41 lado d/ grossos	0,98 Mesocúrtica

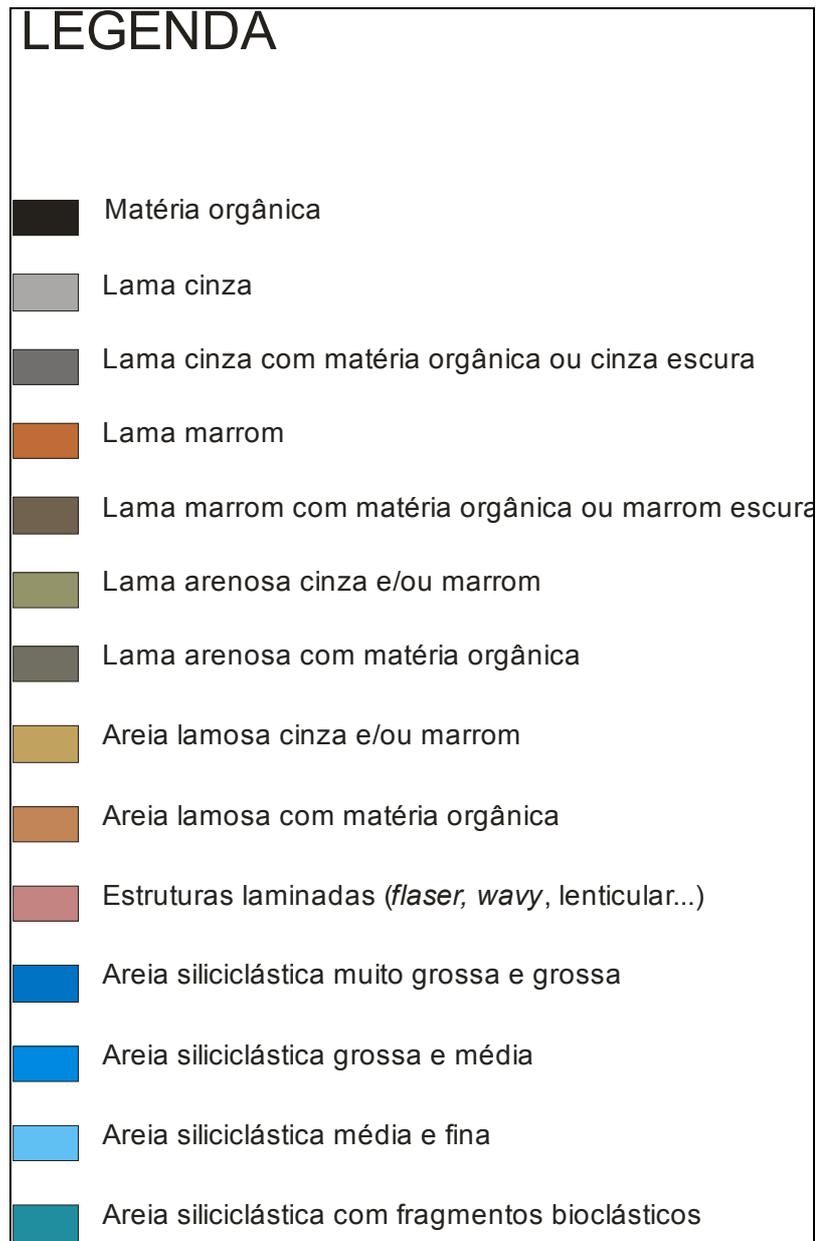
**Tabela 5.1.6-4 - Tabela de teores de carbonato e classificação granulométrica dos sedimentos (continuação)**

Amostra	% CaCO <sub>3</sub>	% lama	Diâmetro médio (Mz)	Seleção (fi)	Assimetria (fi)	Achatamento (fi)
4 V	-	65,53	3,348 areia muito fina	0,405 boa	0,192 lado d/ finos	0,954 Mesocúrtica
5 I	-	98,27	3,21 areia muito fina	0,67 Mod.a boa	-0,19 lado d/ grossos	1,26 Leptocúrtica
5 VI	-	72,08	3,100 areia muito fina	0,394 boa	0,044 simétrica	1,426 Leptocúrtica
10 II	21,48	0,22	0,146 areia grossa	1,135 pobre	0,009 simétrica	0,822 Platicúrtica
10 III	-	90,05	2,71 areia fina	0,94 moderada	-0,006 simétrica	1,21 Leptocúrtica
14 I	12,91	0,13	0,33 areia grossa	0,81 moderada	-0,21 lado d/ grossos	1,37 Leptocúrtica
14 VII	-	89,27	1,74 areia média	1,01 pobre	0,05 simétrica	1,00 Mesocúrtica
19 I	-	98,90	2,69 areia fina	1,15 pobre	-0,44 lado d/ grossos	2,11 Muito Lept.
19 II	-	93,00	3,08 areia muito fina	0,76 moderada	-0,31 lado d/ grossos	1,47 Leptocúrtica
19 IX	-	61,99	3,060 areia muito fina	0,435 boa	-0,025 simétrica	1,369 Leptocúrtica
22 I	4,25	10,32	1,43 areia média	0,81 moderada	-0,05 simétrica	0,92 Mesocúrtica
22 III	-	95,42	3,175 areia muito fina	0,596 mod. a boa	-0,205 lado d/ grossos	1,356 Leptocúrtica
22 XI	-	77,5	3,160 areia muito fina	0,411 boa	0,029 simétrica	1,262 Leptocúrtica
22A II	-	65,09	2,99 areia fina	0,79 moderada	-0,20 lado d/ grossos	1,13 Leptocúrtica
22A VII	-	70,20	3,25 areia muito fina	0,47 boa	0,04 simétrica	1,02 Mesocúrtica
22B I	-	96,305	3,233 areia muito fina	0,809 moderada	-0,540 lado d/grossos	1,093 Mesocúrtica
22B II	-	93,3	3,240 areia muito fina	0,727 moderada	-0,351 lado d/grossos	1,091 Mesocúrtica
22B X	-	88,72	3,338 areia muito fina	0,639 mod. a boa	-0,302 lado d/grossos	1,366 Leptocúrtica
22C II	-	95,09	3,32 areia muito fina	0,72 moderada	-0,49 lado d/ grossos	1,35 Leptocúrtica
22C III	-	44,51	2,86 areia fina	moderada	-0,47 lado d/ grossos	2,57Muito Lept.
22C VII	-	90,36	3,12 areia muito fina	0,80 moderada	-0,38 lado d/ grossos	1,55 Muito Lept.
22D I	-	97,97	2,923 areia fina	1,044 pobre	-0,306 lado d/grossos	1,766 Muito Lept.
22D XII	-	70,75	1,855 Areia média	1,989 pobre	-0,562 lado d/grossos	1,037 Mesocúrtica
22 E I	-	90,92	3,102 areia muito fina	0,594 mod. a boa	-0,061 simétrica	1,010 Mesocúrtica
22E III	-	99,78	2,43 areia fina	1,16 pobre	-0,19 lado d/ grossos	0,76 Platicúrtica
22F I	-	80,13	3,060 areia muito fina	1,129 pobre	-0,424 lado d/grossos	2,629 muito Lept.

**Tabela 5.1.6-5 - Tabela de teores de carbonato e classificação granulométrica dos sedimentos (continuação)**

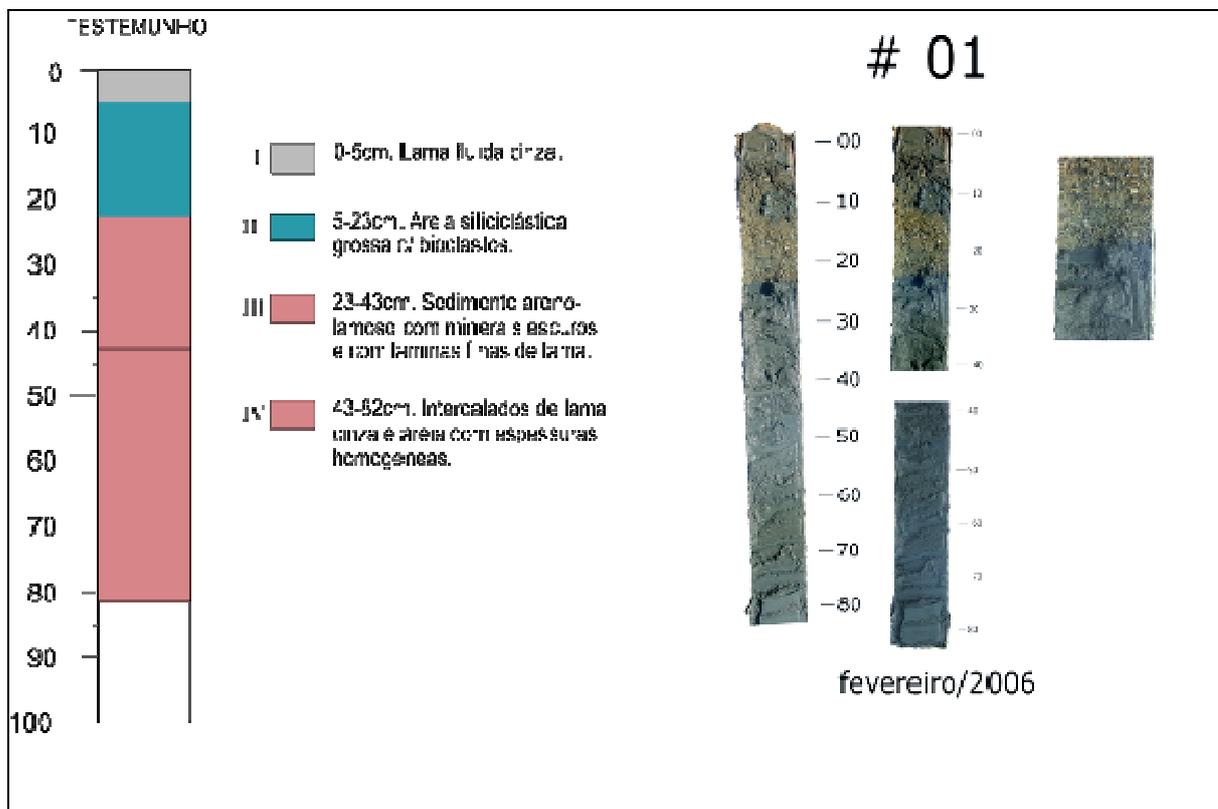
Amostra	% CaCO <sub>3</sub>	% lama	Diâmetro médio (Mz)	Seleção (fi)	Assimetria (fi)	Achatamento (fi)
22F III	-	98,92	3,611 areia muito fina	0,568 mod. a boa	-0,765 lado d/grossos	2,076 muito Lept.
27 I	-	95,77	3,18 areia muito fina	0,60 mod. a boa	-0,03 simétrica	0,84 Platicúrtica
27 II	-	90,00	3,212 areia muito fina	0,499 boa	-0,066 simétrica	1,336 Leptocúrtica
27 VI	5,43	2,82	2,001 areia fina	1,209 pobre	-0,678 lado d/ grossos	0,790 Platicúrtica
27A I	5,22	18,54	0,584 Areia grossa	1,260 pobre	-0,007 aprox.simétrica	0,883 Platicúrtica
27A III	-	73,89	3,01 areia muito fina	0,67 mod. a boa	-0,39 lado dos grossos	2,45 muito Lept.
27A X	-	53,12	3,063 areia muito fina	0,764 moderada	-0,286 lado d/grossos	2,030 muito Lept.
27B I	-	8,65	0,809 Areia grossa	0,919 moderada	0,125 lado d/ finos	1,045 Mesocúrtica
27B II	-	80,59	2,55 areia fina	1,26 pobre	-0,59 lado dos grossos	1,25 Leptocúrtica
27B VIII	-	79,90	2,90 areia fina	0,66 mod. a boa	-0,39 lado dos grossos	1,84 muito Lept.
27C I	-	68,62	0,986 Areia grossa	1,108 pobre	0,147 lado dos finos	0,876 Platicúrtica
27C VIII		95,02	3,132 areia muito fina	0,615 mod. a boa	-0,215 lado d/ grossos	1,463 Leptocúrtica
27D I	-	88,33	2,036 areia fina	0,860 moderada	-0,219 lado d/ grossos	1,205 Leptocúrtica
27D II	-	45,00	2,912 areia fina	0,876 moderada	-0,368 lado d/ grossos	1,196 Leptocúrtica
27D III	7,26	2,83	1,65 Areia média	0,89 moderada	-0,32 lado dos grossos	1,25 Leptocúrtica
27D V	-	16,57	2,415 areia fina	1,040 pobre	-0,421 lado d/ grossos	1,094 Mesocúrtica
27E I	3,51	1,01	1,024 Areia média	0,806 moderada	0,198 lado dos finos	1,140 Leptocúrtica
27E VII	-	95,30	2,08 areia fina	1,86 pobre	-0,62 lado dos grossos	0,66 muito Platic.
27F I	-	48,32	1,67 Areia média	0,99 moderada	-0,05 simétrica	0,85 Platicúrtica
27F VI	-	72,75	1,43 Areia média	1,65 pobre	-0,12 lado dos grossos	0,99 Mesocúrtica

A fim de caracterizar os sedimentos coletados, os mesmos foram agrupados em 14 classes faciológicas, conforme Figura 5.1.6-5. A seguir, apresenta-se para cada um dos pontos amostrais os registros fotográficos e a descrição composicional e granulométrica das sub-amostras. Outras informações, quando existentes, sobre a fácies que foram levantadas na descrição de campo, seguem ao lado na descrição faciológica.



**Figura 5.1.6-5 - Escala de cores adotada na classificação faciológica dos sedimentos**

## AMOSTRA P1



**Figura 5.1.6-6 -Descrição do Testemunho (Amostra P01)**

◆ Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-6)

# 1I - Sedimento lamo-arenoso com 58,94% de lama. A fração areia apresentou classificação em areias grossas (0,94 fi) e distribuição com moderado grau de seleção (0,91), assimetria para o lado dos finos(0,23) e leptocúrtica (1,13).

# 1III - Areias siliciclásticas muito grossas (-0,19 fi) com moderado grau de seleção, assimetria para o lado dos grossos (-0,10) e leptocúrticas (1,18).

# 1IV - Sedimento areno-lamoso (43,69% de lama) com abundantes fragmentos e conchas inteiras (11,36%). A fração areia apresentou-se classificada em areias muito finas (3,76), com muito bom grau de seleção (0,23), assimetria para o lado dos grossos (-0,23) e leptocúrtica (1,43).

## AMOSTRA P2

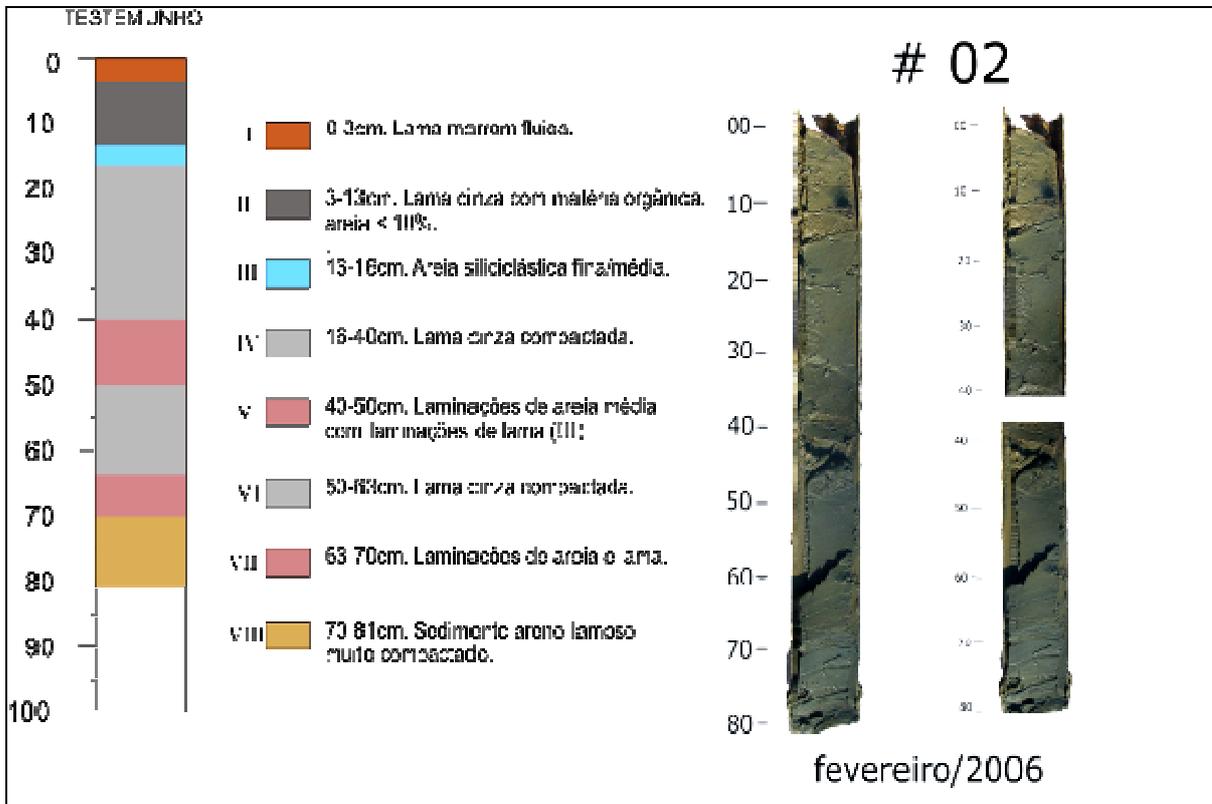


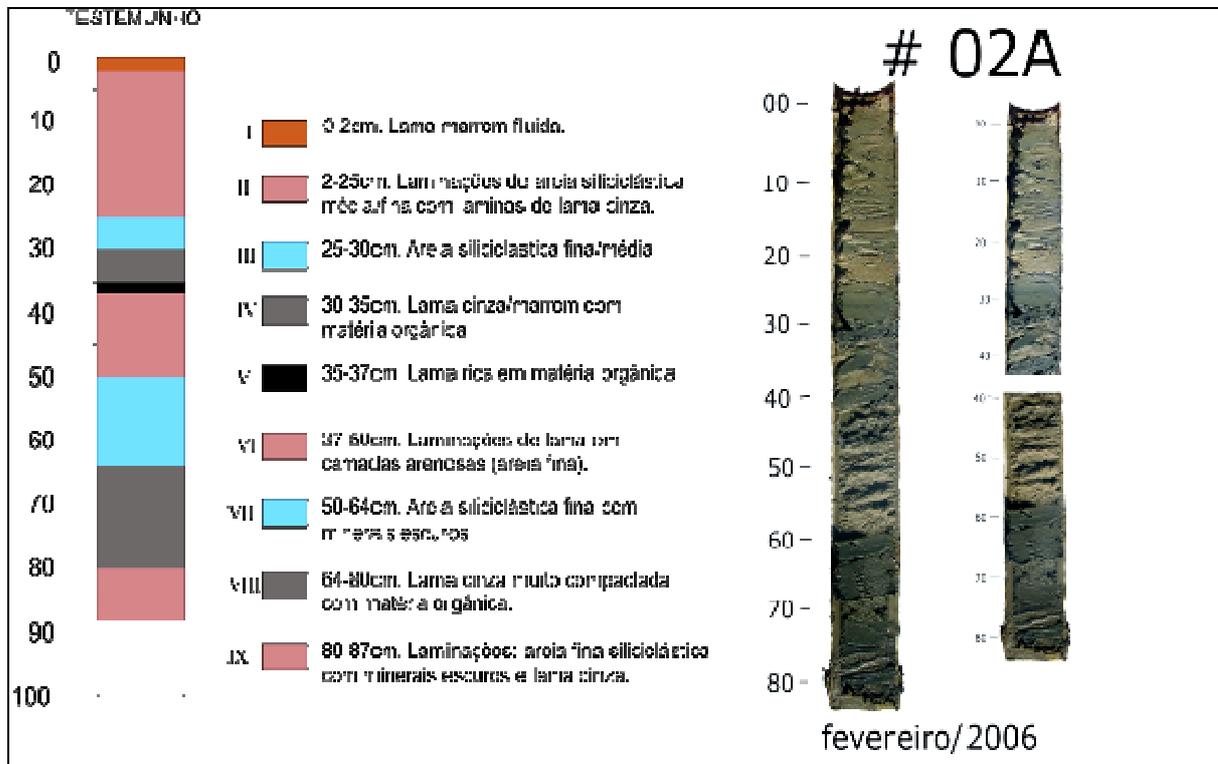
Figura 5.1.6-7 - Descrição do Testemunho (Amostra P02)

◆ Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-7)

# 2 I - Lama (91,33%). A pequena fração areia (2,30 fi) apresentou-se fina e com moderado grau de seleção (0,91).

# 2 VII - Sedimento lamo-arenoso com 76,51% de lama. A fração areia apresentou-se muito fina (3,803 fi), com muito bom grau de seleção (0,185), assimetria para o lado dos grossos (-0,457) e muito leptocúrtica (1,908).

## AMOSTRA P2A



**Figura 5.1.6-8 - Descrição do Testemunho (Amostra P02A)**

Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-8)

**# 2A II** - Sedimento lamo-arenoso com 50,90% de lama. As areias apresentaram-se finas (2,69 fi), com bom grau de seleção (0,416), assimétricas para o lado dos grossos (-0,154) e leptocúrticas (1,217).

**# 2A IX** - Sedimento lamo-arenoso, com 89,83% de lama. As areias apresentaram-se finas (2,69%), seleção moderada (0,75), assimétricas para o lado dos grossos (-0,36) e muito leptocúrticas (1,95).

## AMOSTRA P02B

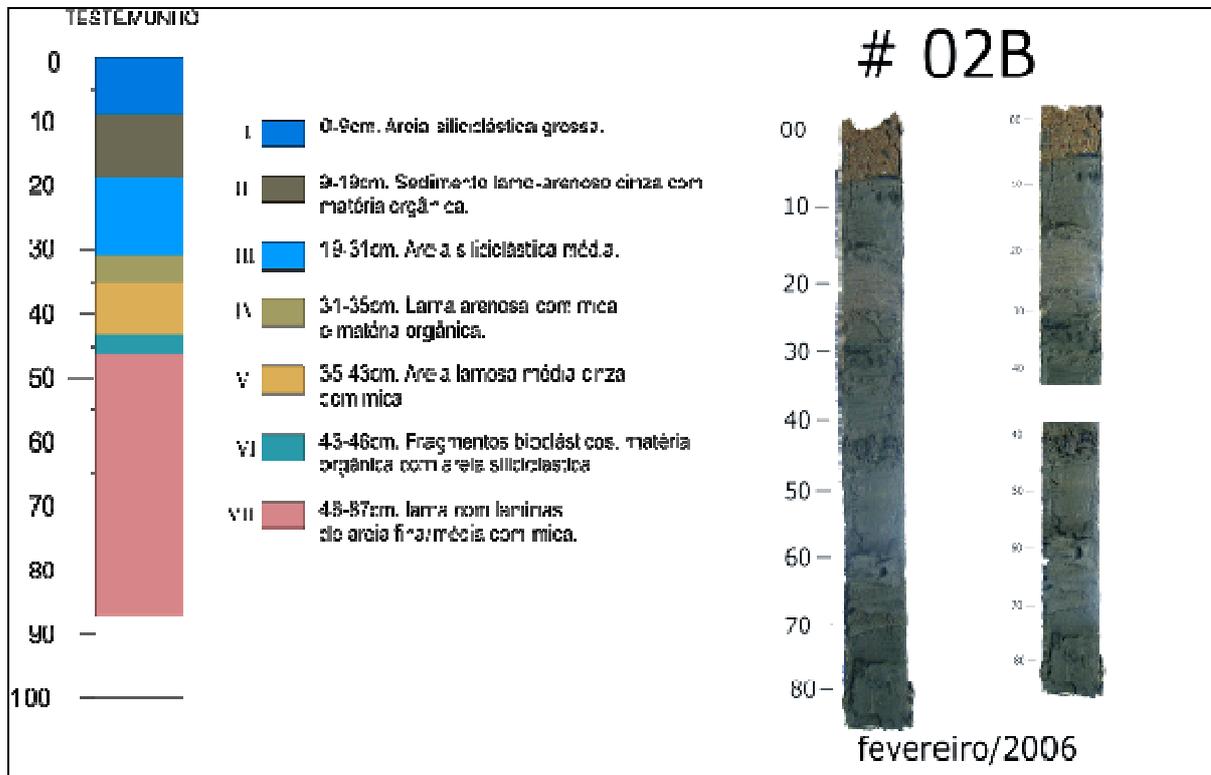


Figura 5.1.6-9 - Descrição do Testemunho (Amostra P02B)

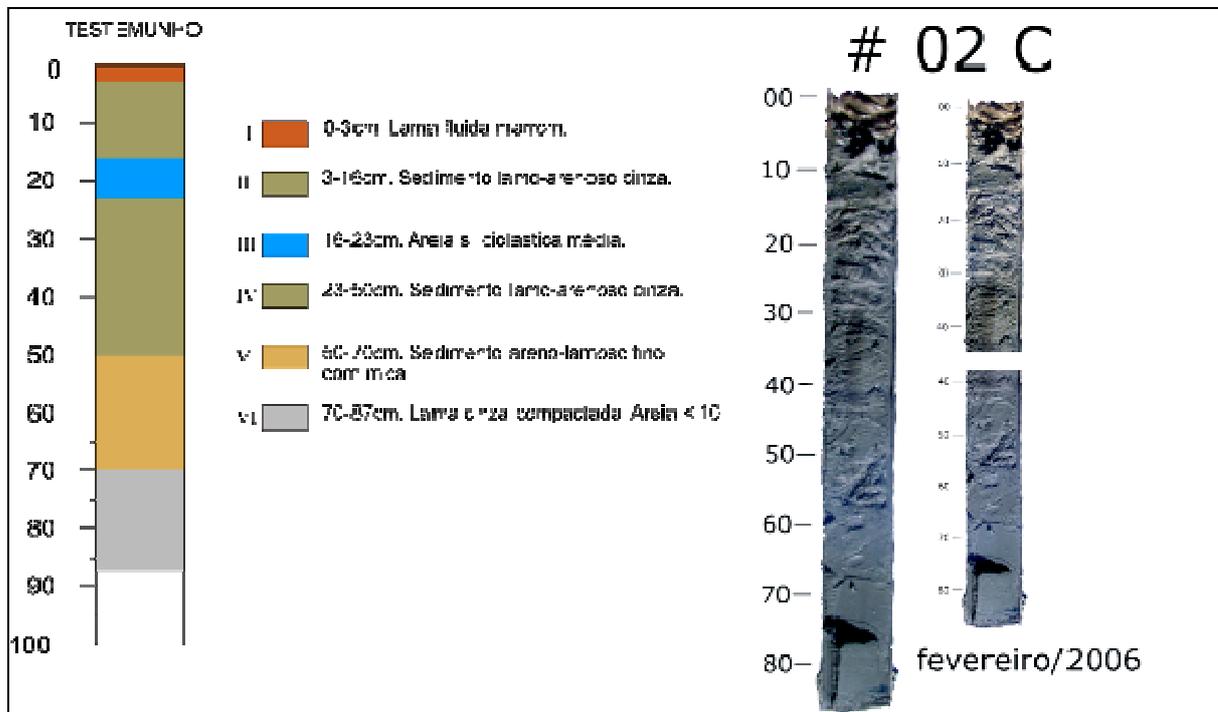
Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-9).

# **2B I** - Areias grossas (0,70 fi) com fragmentos bioclásticos. A distribuição granulométrica apresentou-se pobre (1,00 fi), simétrica (0,046) e mesocúrtica (1,08).

# **2B II** - Sedimento lamo-arenoso com 84,50% de lama. As areias apresentaram-se finas (2,43fi), com pobre grau de seleção (1,50 fi), assimétricas para o lado dos grossos (-0,56) e platicúrticas (0,88).

# **2B VII** - Lama (94,01%). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (3,03 fi) e com moderado grau de seleção (0,91).

## AMOSTRA P2C



**Figura 5.1.6-10 - Descrição do Testemunho (Amostra P02C)**

Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-10).

**# 2C I** - Lama (95,73%). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (3,03 fi) e com moderado a bom grau de seleção (0,61).

**# 2C II** - Sedimento lamo-arenoso com 73,38% de lama. As areias apresentaram-se finas (2,96fi), com moderado a bom grau de seleção (0,50 fi), simétricas (0,02) e leptocúrticas (1,38).

**# 2C VI** - Lama (90,73%). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (3,19 fi) e com moderado a bom grau de seleção (0,61).

## AMOSTRA P2D

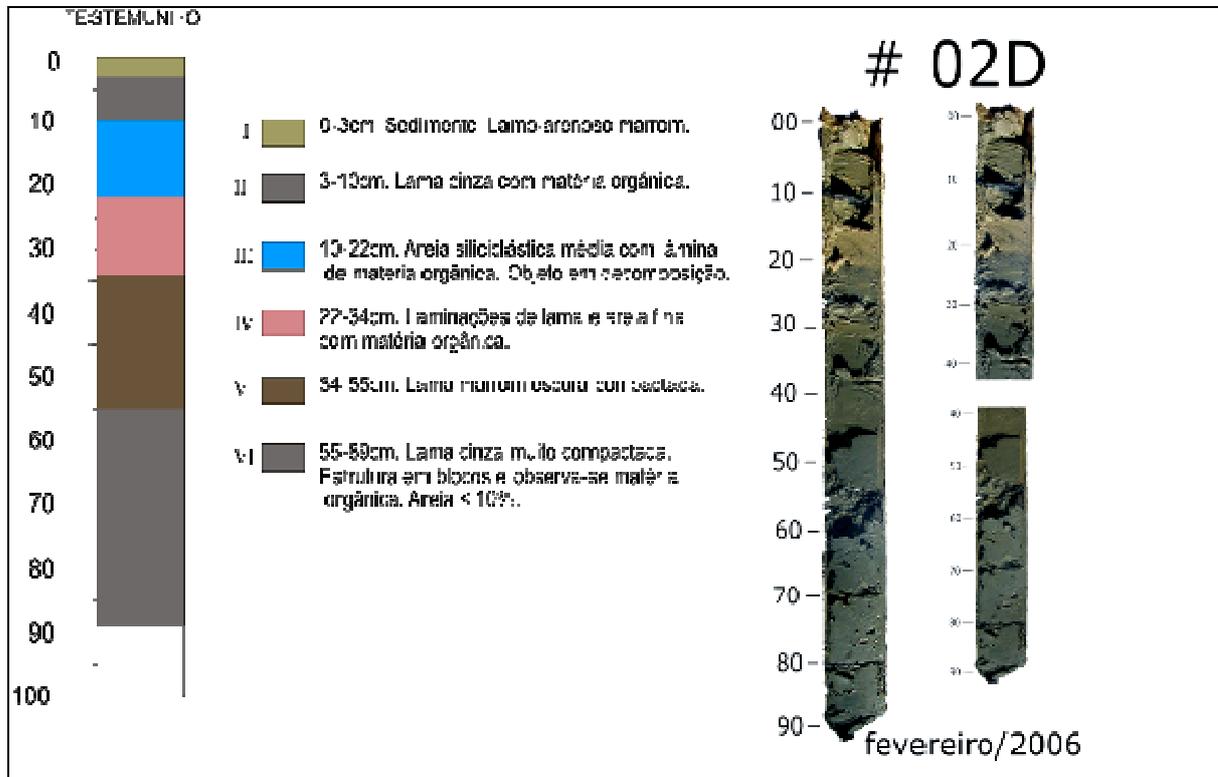


Figura 5.1.6-11 - Descrição do Testemunho (Amostra P02D)

Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-11).

# **2D I** - Sedimento lamo-arenoso com 68,02% de lama. As areias apresentaram-se médias (1,24 fi), com pobre grau de seleção (1,26 fi), simétricas (-0,02) e mesocúrticas (0,91).

# **2D VI** - Lama (90,51%). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (3,19 fi) e com moderado a bom grau de seleção (0,55).

## AMOSTRA P2E

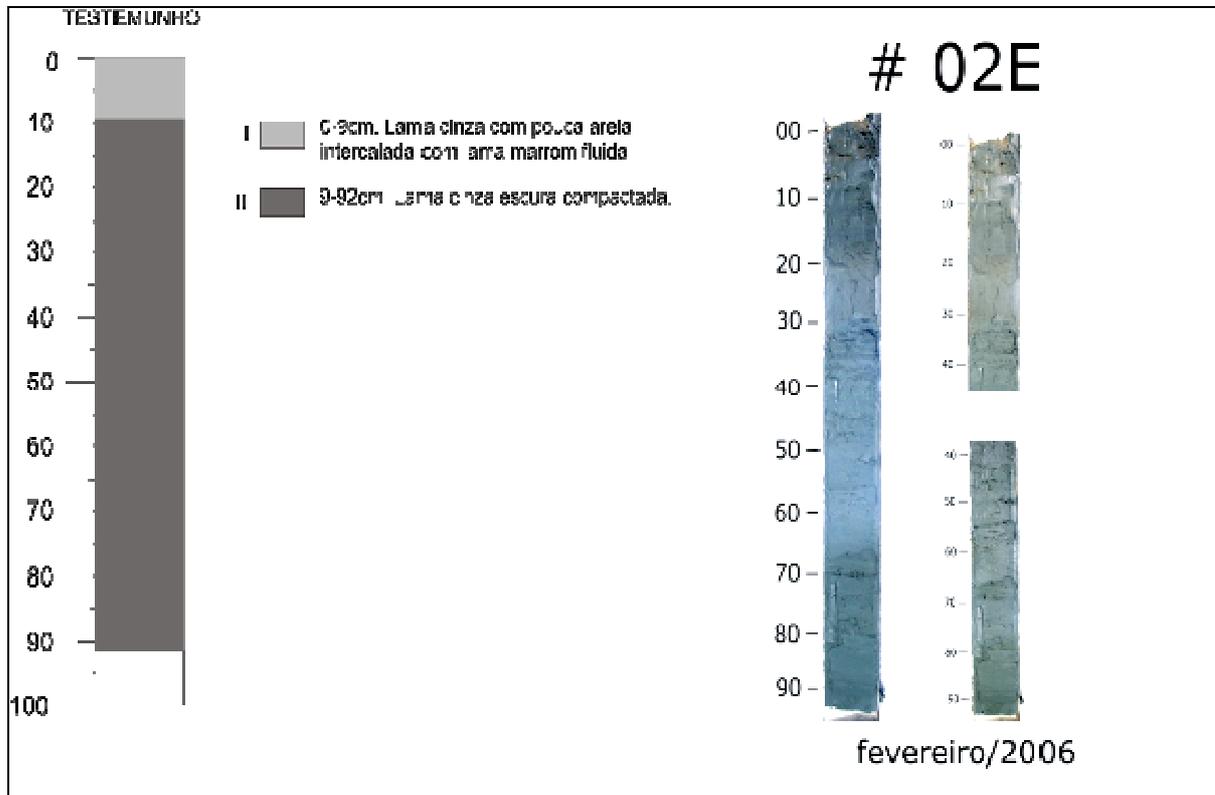


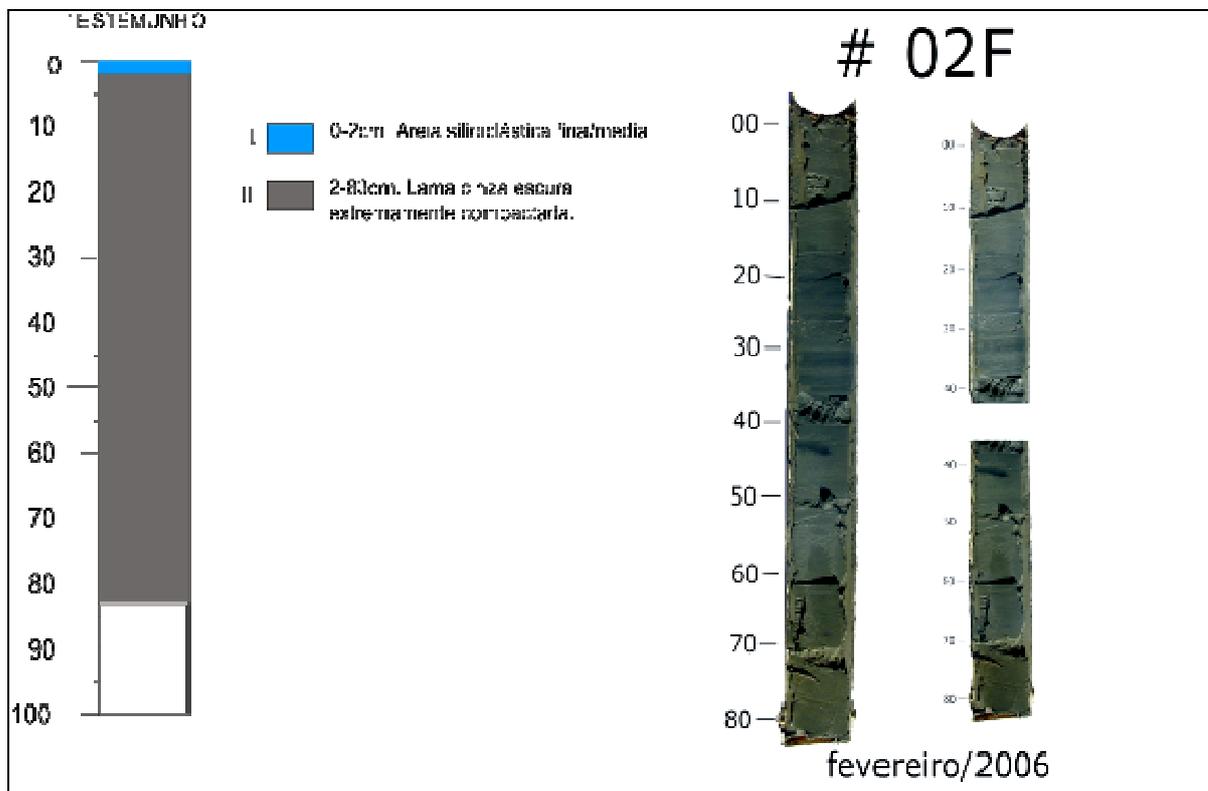
Figura 5.1.6-12 -Descrição do Testemunho (Amostra P02E)

♦ Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-12)

# **2E I** - Sedimento lamo-arenoso (84,87%). A pequena fração areia apresentou-se fina (3,19 fi), com bom grau de seleção (0,49), assimétrica para o lado dos finos (0,19) e leptocúrtica (1,28).

# **2E II** - Lama (97,27%). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (3,42 fi) e com moderado a bom grau de seleção (0,651).

## AMOSTRA P2F



**Figura 5.1.6-13 - Descrição do Testemunho (Amostra P02F)**

Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-13).

**# 2F I** - Sedimento lamo-arenoso (70,43%). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (3,19 fi), com moderado bom grau de seleção (0,64), simétrica (-0,00) e leptocúrtica (1,21).

Obs.: resultado revela possível inclusão de material adjacente no momento da coleta.

**# 2F II** - Lama (99,26%). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (2,94 fi) e com pobre grau de seleção (1,40 fi).

## AMOSTRA P3

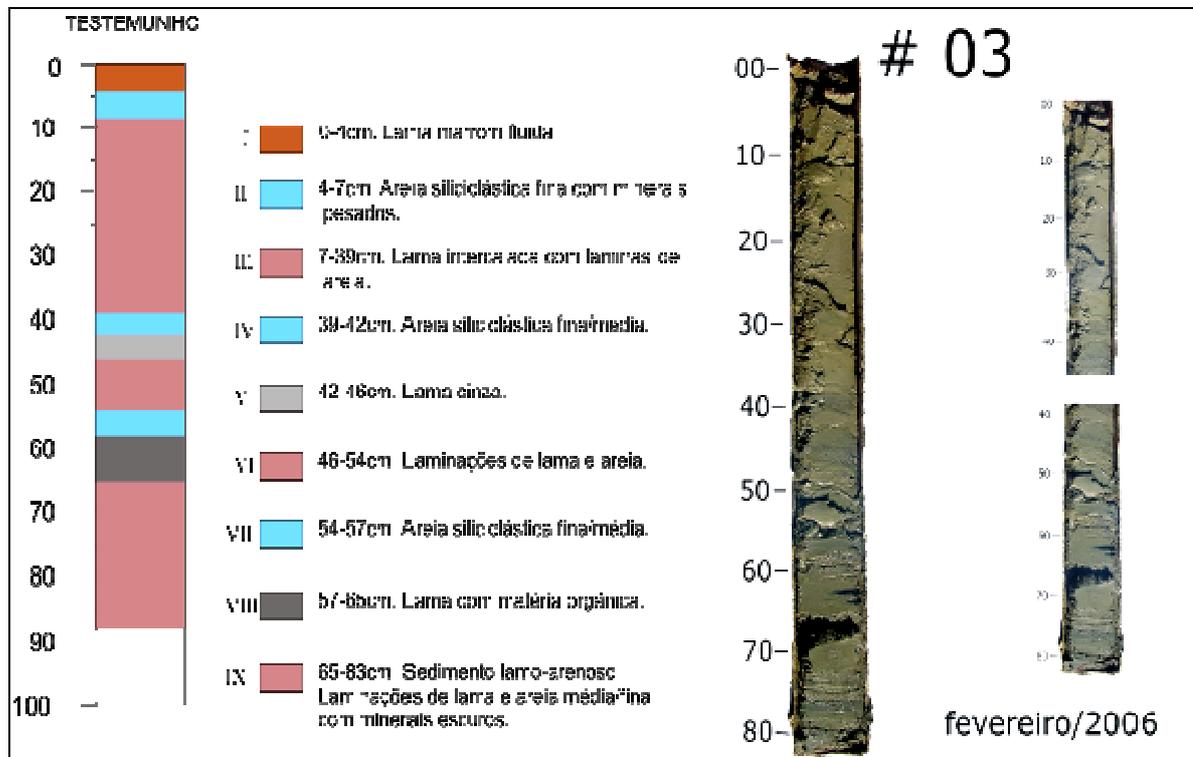


Figura 5.1.6-14 - Descrição do Testemunho (Amostra P03)

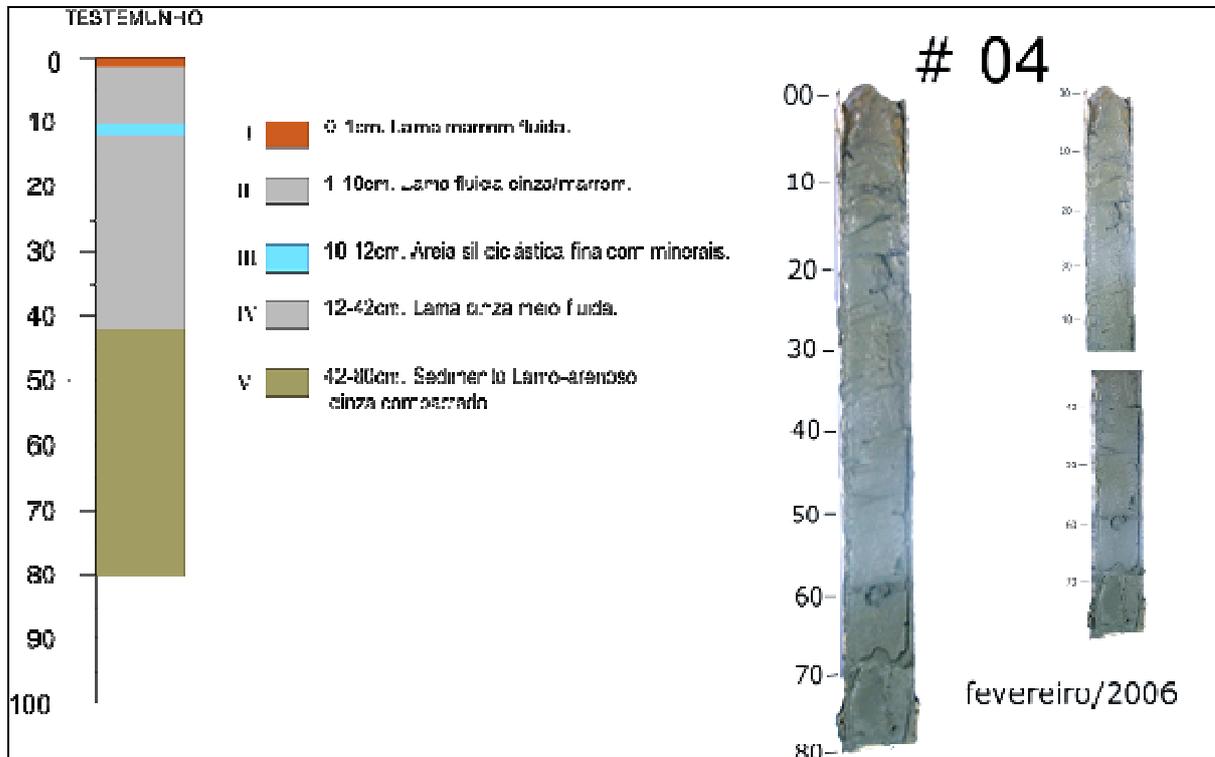
Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-14).

# 3 I - Sedimento lamo-arenoso (86,63% de lama). A pequena fração areia apresentou-se fina (2,75 fi), com bom grau de seleção (0,45), simétrica (0,02) e leptocúrtica (1,34).

Obs.: resultado revela possível inclusão de material adjacente no momento da coleta.

# 3 IX - Sedimento lamo-arenoso (53,18% de lama). A pequena fração areia apresentou-se fina (2,365 fi), com pobre grau de seleção (1,156), assimétrica para o lado dos grossos (-0,58) e muito leptocúrtica (1,634).

## AMOSTRA P04



**Figura 5.1.6-15 - Descrição do Testemunho (Amostra P04)**

Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-15).

# 4 II - Lama (92,25%). A pequena fração areia apresentou-se fina (2,84 fi) e com pobre grau de seleção (1,10 fi).

# 4 V - Sedimento lamo-arenoso (65,53% de lama). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (3,348 fi), com boa seleção (0,405 fi), assimétrica para o lado dos finos (0,192) e mesocúrtica (0,954).

## AMOSTRA P05

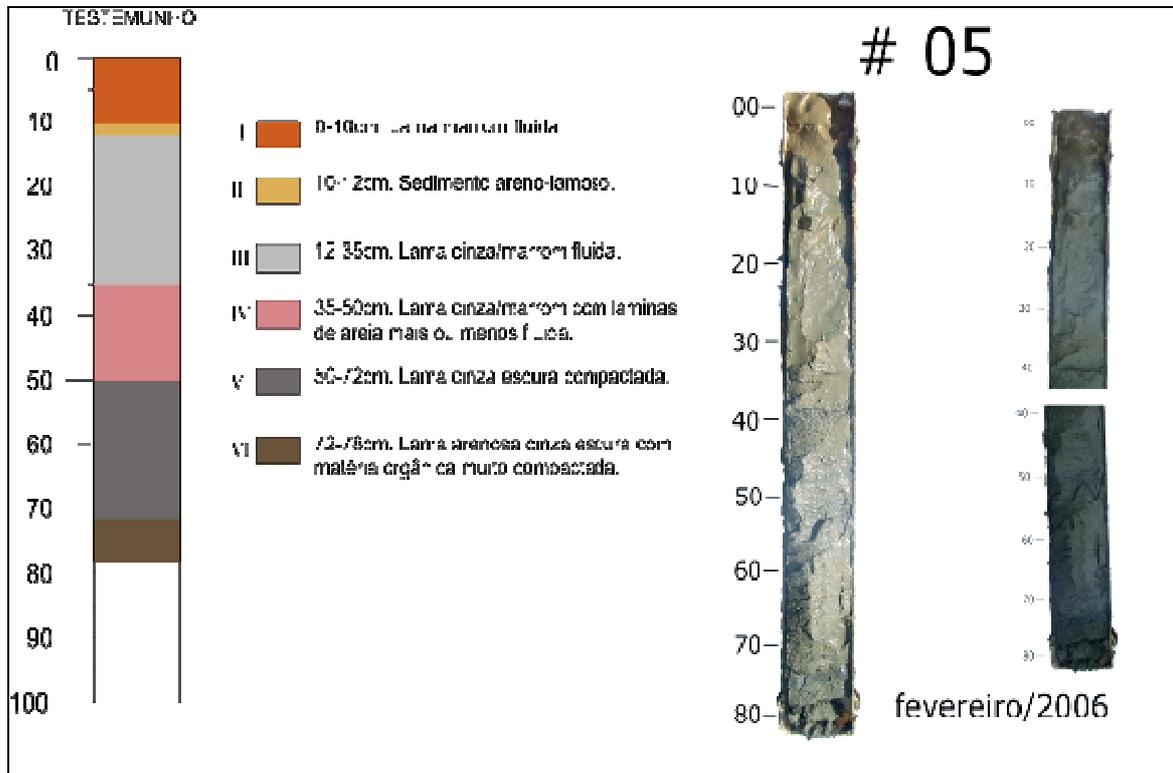


Figura 5.1.6-16 - Descrição do Testemunho (Amostra P05)

Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-16)

# 5 I - Lama (98,27%). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (3,21 fi) e com moderado a bom grau de seleção (0,67 fi).

# 5 VI - Sedimento lamo-arenoso (72,08% de lama). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (3,10 fi), com boa seleção (0,394 fi), simétrica (0,044) e leptocúrtica (1,426).

## AMOSTRA P10

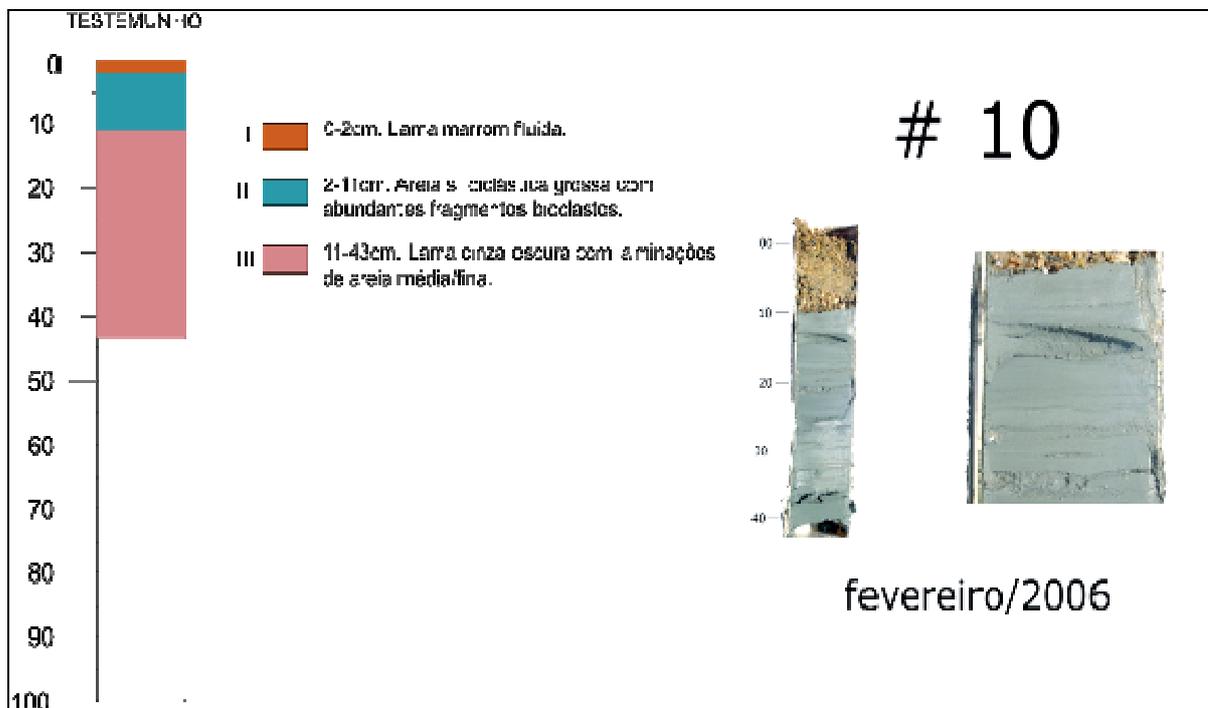


Figura 5.1.6-17 - Descrição do Testemunho (Amostra P10)

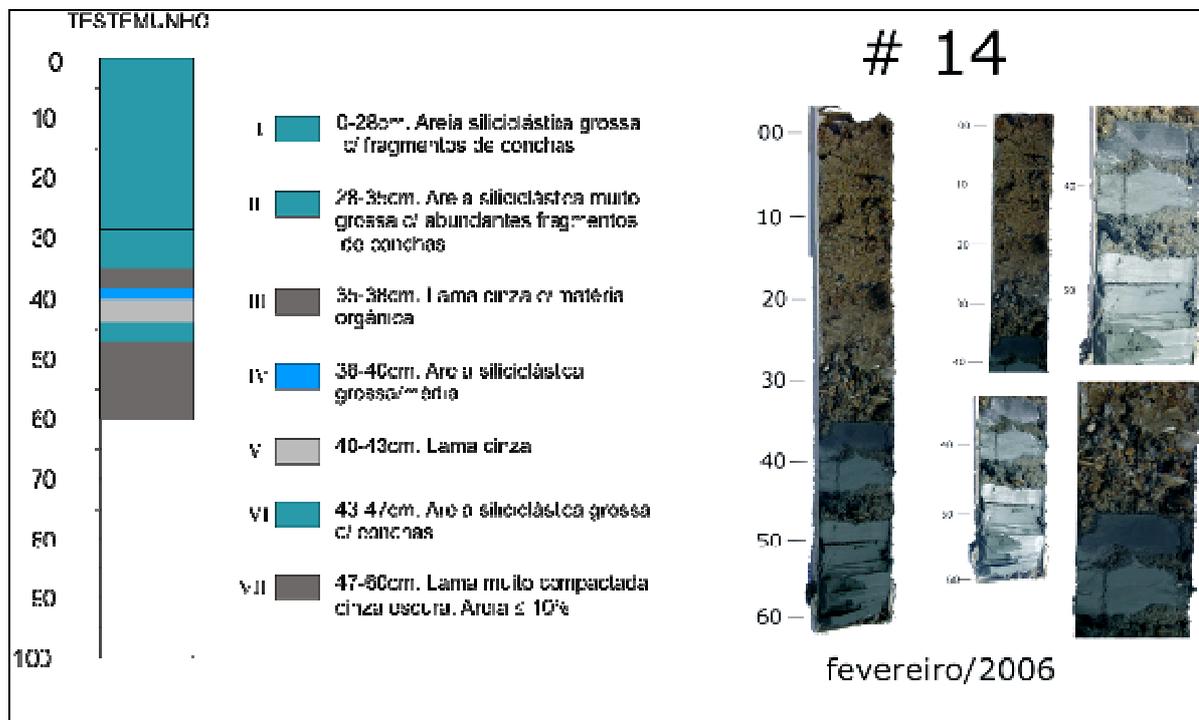
Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-17)

**# 10 II** - Areias grossas (0,70 fi) com abundantes fragmentos de bioclásticos (21,48%). A distribuição granulométrica apresentou pobre grau de seleção (1,135 fi), simétrica (0,009) e platicúrtica (0,822).

Obs.: resultado revela possível inclusão de material adjacente no momento da coleta.

**# 10 III** - Lama (90,05%). A pequena fração areia apresentou-se fina (2,71 fi) e com moderado grau de seleção (0,94 fi).

## AMOSTRA P14



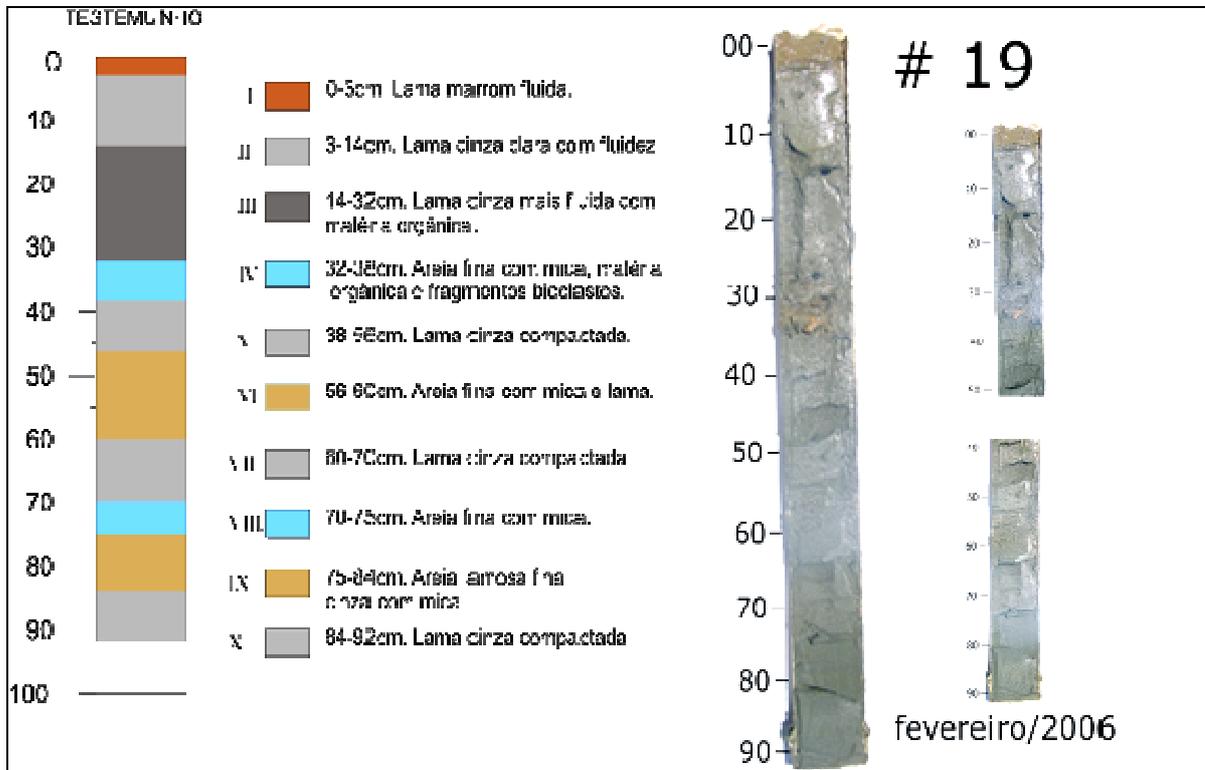
**Figura 5.1.6-18 - Descrição do Testemunho (Amostra P14)**

Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-18).

**# 14 I** - Areias grossas (0,146 fi) com abundantes fragmentos de bioclásticos (12,91%). A distribuição granulométrica apresentou-se moderado grau de seleção (1,135 fi), assimétrica para o lado dos grossos (-0,21) e leptocúrtica (1,37).

**# 14 VII** - Sedimento lamo-arenoso (89,27% de lama). A pequena fração areia apresentou-se média (1,74 fi), com pobre grau de seleção (1,01 fi), simétrica (0,05) e mesocúrtica (1,00).

## AMOSTRA P19



**Figura 5.1.6-19 - Descrição do Testemunho (Amostra P19)**

Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-19).

# 19 I - Lama (98,90%). A pequena fração areia apresentou-se fina (2,69 fi) e com pobre grau de seleção (1,15 fi).

# 19 II - Lama (93,00%). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (3,08 fi) e com moderado grau de seleção (0,76 fi).

# 19 IX - Sedimento lamo-arenoso (61,99% de lama). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (3,06 fi), com pobre grau de seleção (1,01 fi), simétrica (-0,025) e leptocúrtica (1,369).

## AMOSTRA P22

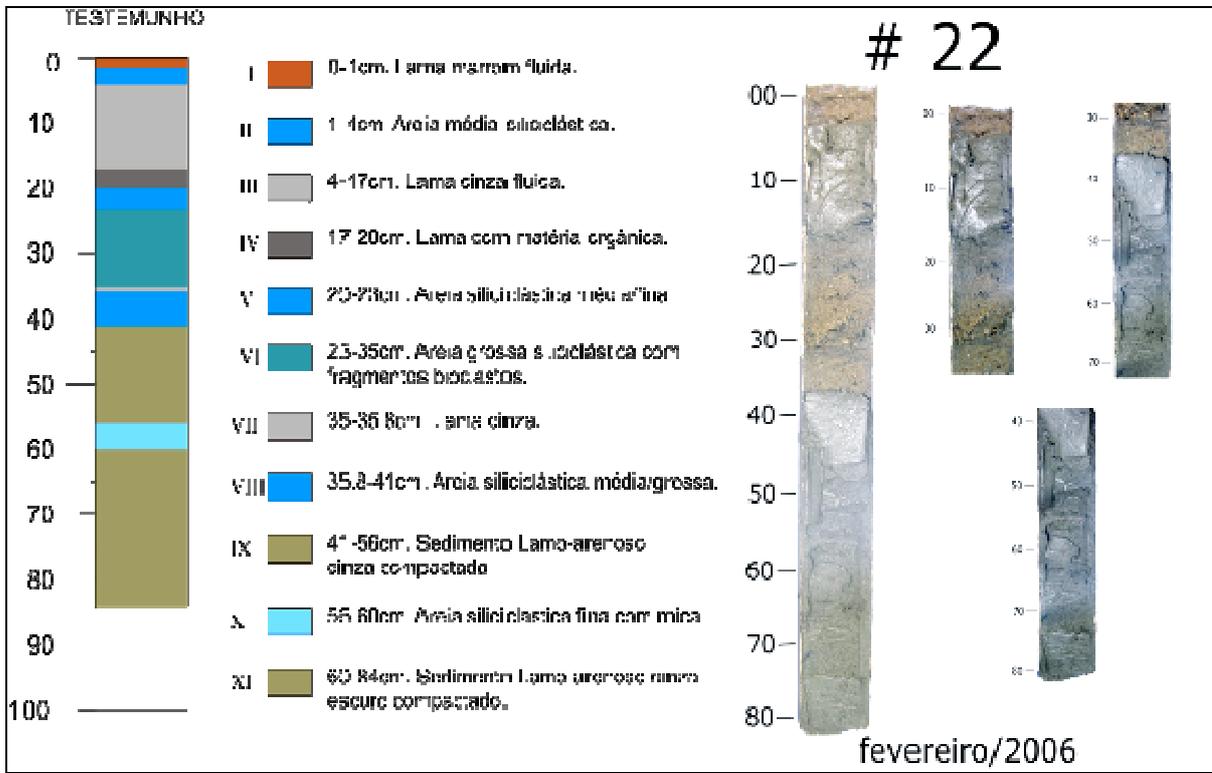


Figura 5.1.6-20 - Descrição do Testemunho (Amostra P22)

Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-20).

# 22 I - Sedimento areno-lamoso (10,32% de lama) com bioclóstos (4,25%). A fração areia apresentou-se média (1,43 fi), com moderado grau de seleção (1,01 fi), simétrica (-0,05) e mesocúrtica (0,92).

Obs. Coleta conjunto das fácies I e II, devido a pequena espessura das camadas.

# 22 III - Lama (95,42%). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (3,175 fi) e com moderado a bom grau de seleção (0,569 fi).

# 22 XI - Sedimento lamo-arenoso (77,5% de lama). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (3,16 fi), com bom grau de seleção (0,411 fi), simétrica (0,029) e leptocúrtica (1,262).

## AMOSTRA P22A

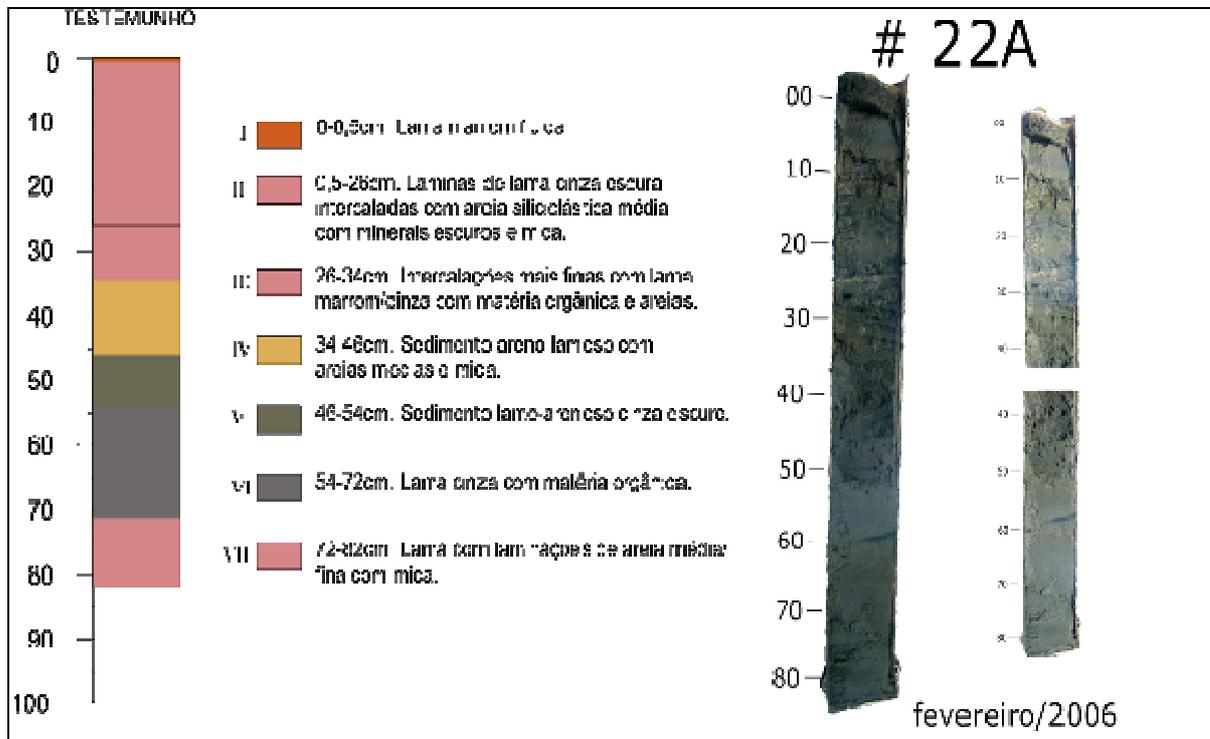


Figura 5.1.6-21 - Descrição do Testemunho (Amostra P22A)

◆ Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-21)

# **22A II** - Sedimento lamo-arenoso (65,09% de lama). A fração areia apresentou-se fina (2,99 fi), com moderado grau de seleção (0,79 fi), assimétrica para o lado dos grossos (-0,20) e leptocúrtica (1,13).

# **22A VII** - Sedimento lamo-arenoso (70,20% de lama). A fração areia apresentou-se muito fina (3,25 fi), com bom grau de seleção (0,47 fi), simétrica (0,04) e mesocúrtica (1,02).

## AMOSTRA P22B

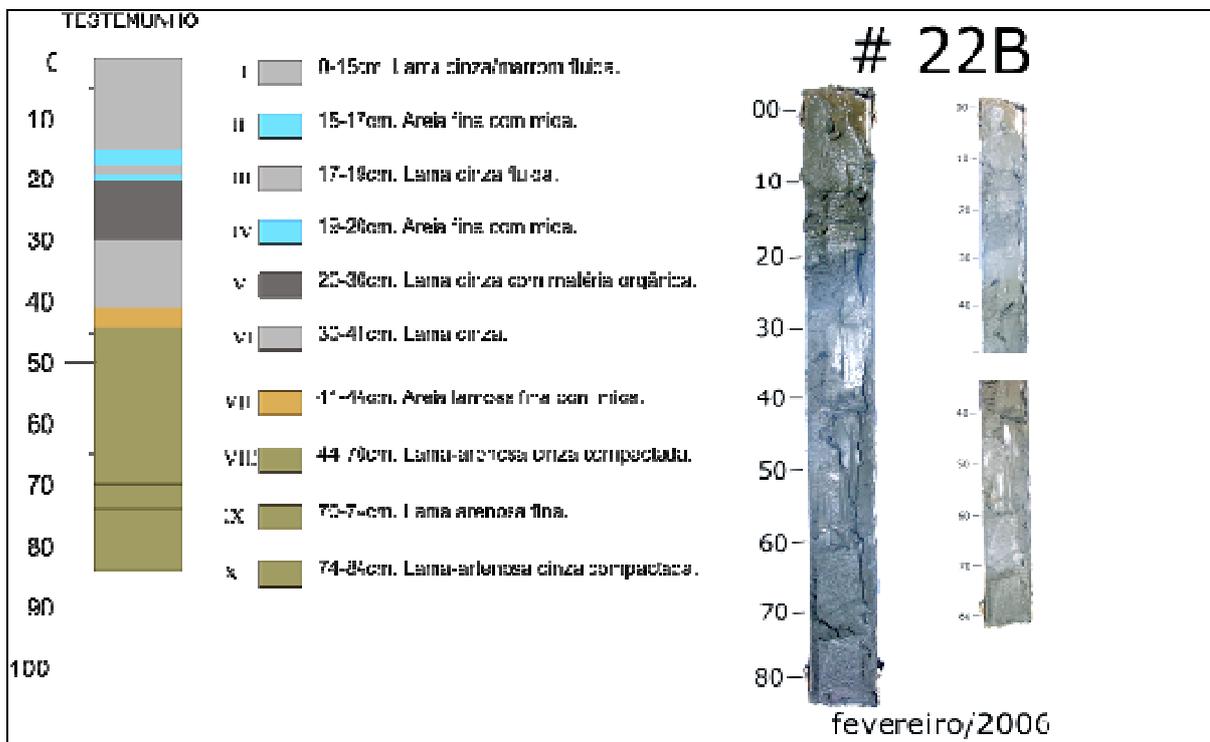


Figura 5.1.6-22 - Descrição do Testemunho (Amostra P22B)

Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-22)

# **22B I** - Lama (96,305%). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (3,233 fi) e com moderado grau de seleção (0,809 fi).

# **22B II** - Lama (93,30%). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (3,240 fi) e com moderado grau de seleção (0,727 fi).

# **22B X** - Sedimento lamo-arenoso (88,72% de lama). A fração areia apresentou-se muito fina (3,338 fi), com moderado a bom grau de seleção (0,639 fi), assimétrica para o lado dos grossos (-0,302) e mesocúrtica (1,091).

## AMOSTRA P22C

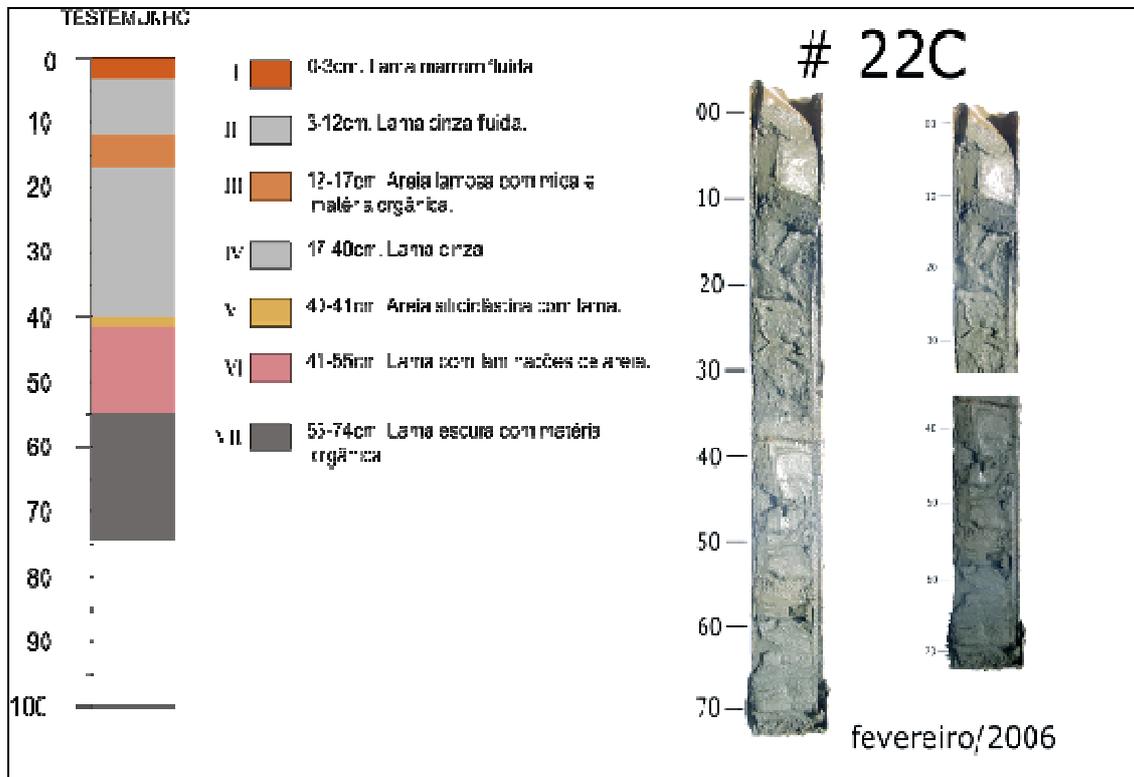


Figura 5.1.6-23 - Descrição do Testemunho (Amostra P22C)

Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-23)

# **22C II** - Lama (95,09% de lama). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (3,32 fi) e com moderado grau de seleção (0,720 fi).

# **22C III** - Sedimento areno-lamoso (44,51% de lama). A fração areia apresentou-se fina (2,86 fi), com moderado grau de seleção (0,90 fi), assimétrica para o lado dos grossos (-0,49) e muito leptocúrtica (2,57).

# **22C VII** - Lama (90,36% de lama). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (3,12 fi) e com moderado grau de seleção (0,80 fi).

## AMOSTRA P22D

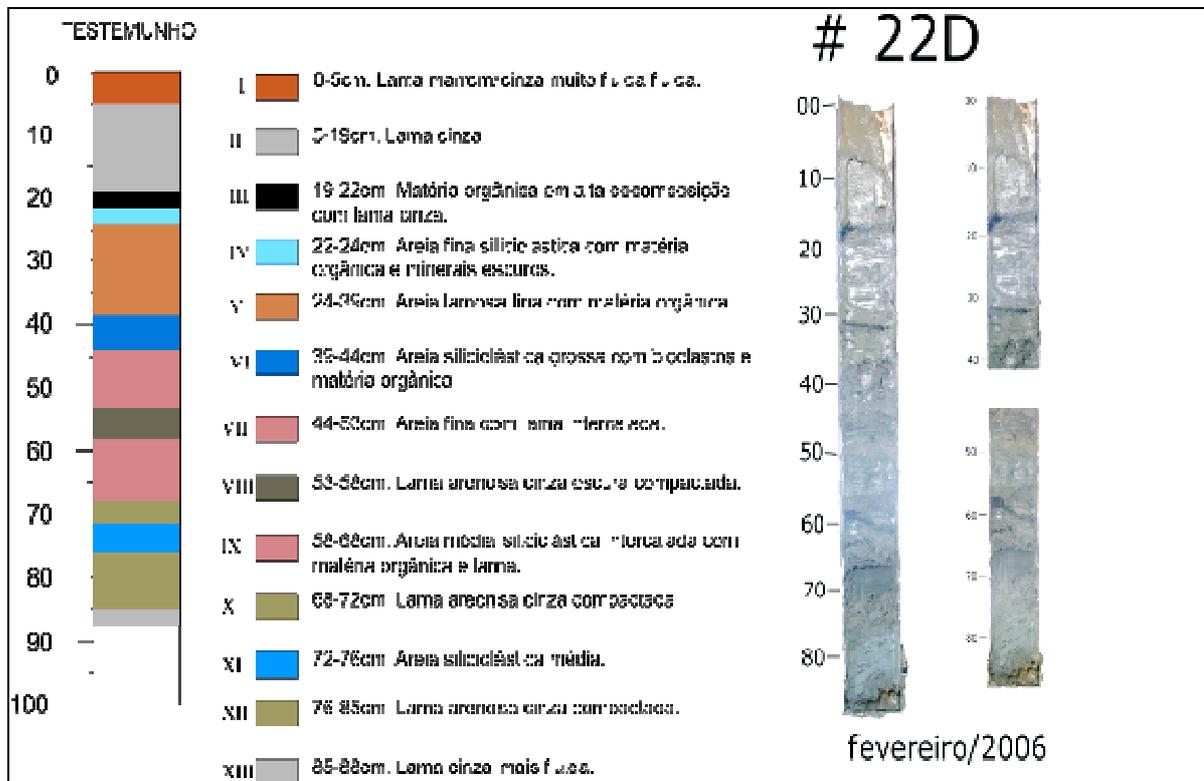


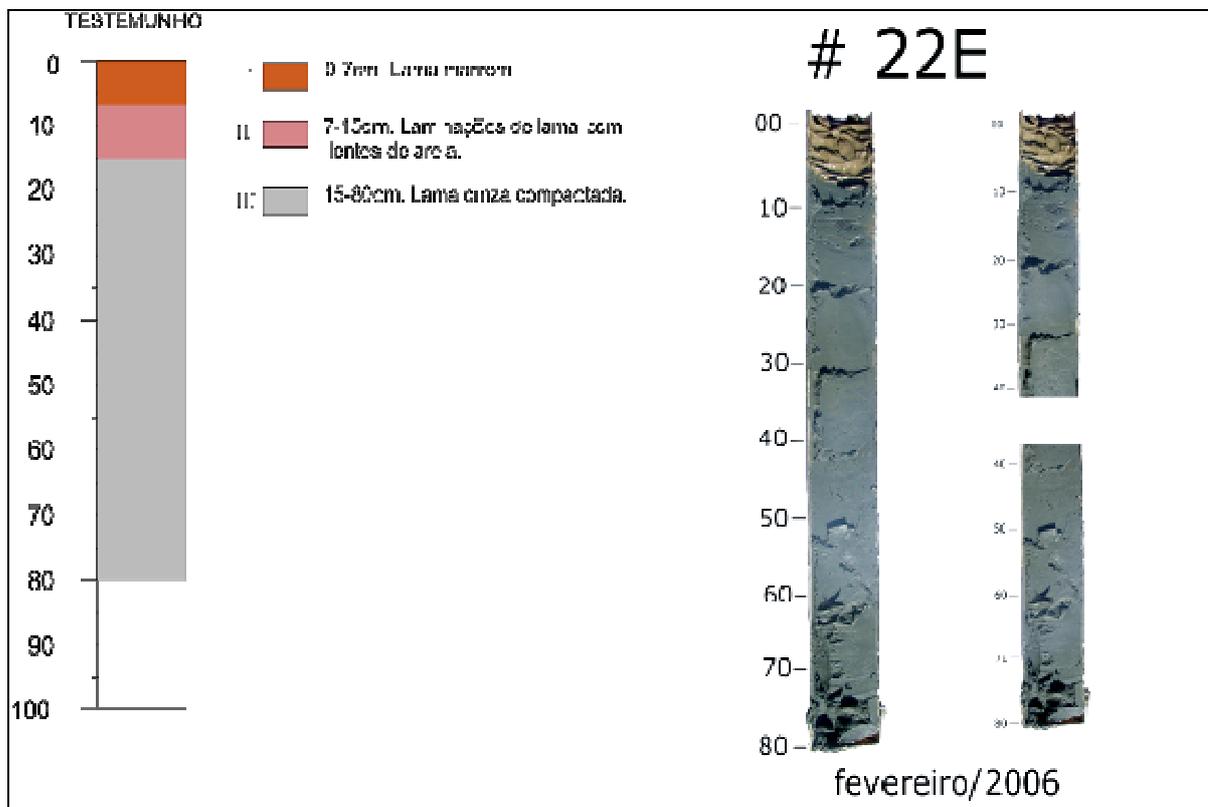
Figura 5.1.6-24 - Descrição do Testemunho (Amostra P22D)

Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-24)

# **22D I** - Lama (97,97% de lama). A pequena fração areia apresentou-se fina (2,923 fi) e pobre grau de seleção (1,044 fi).

# **22D XII** - Sedimento lamo-arenoso (70,75% de lama). A fração areia apresentou-se média (1,855 fi), com pobre grau de seleção (1,989 fi), assimétrica para o lado dos grossos (-0,562) e mesocúrtica (1,037).

## AMOSTRA P22E



**Figura 5.1.6-25 - Descrição do Testemunho (Amostra P22E)**

Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-25).

**# 22E I** - Lama (90,92% de lama). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (3,102 fi) e com moderado a bom grau de seleção (0,594 fi).

**# 22E III** - Lama (99,78% de lama). A pequena fração areia apresentou-se fina (2,43 fi) e com pobre grau de seleção (1,16 fi).

## AMOSTRA P22F

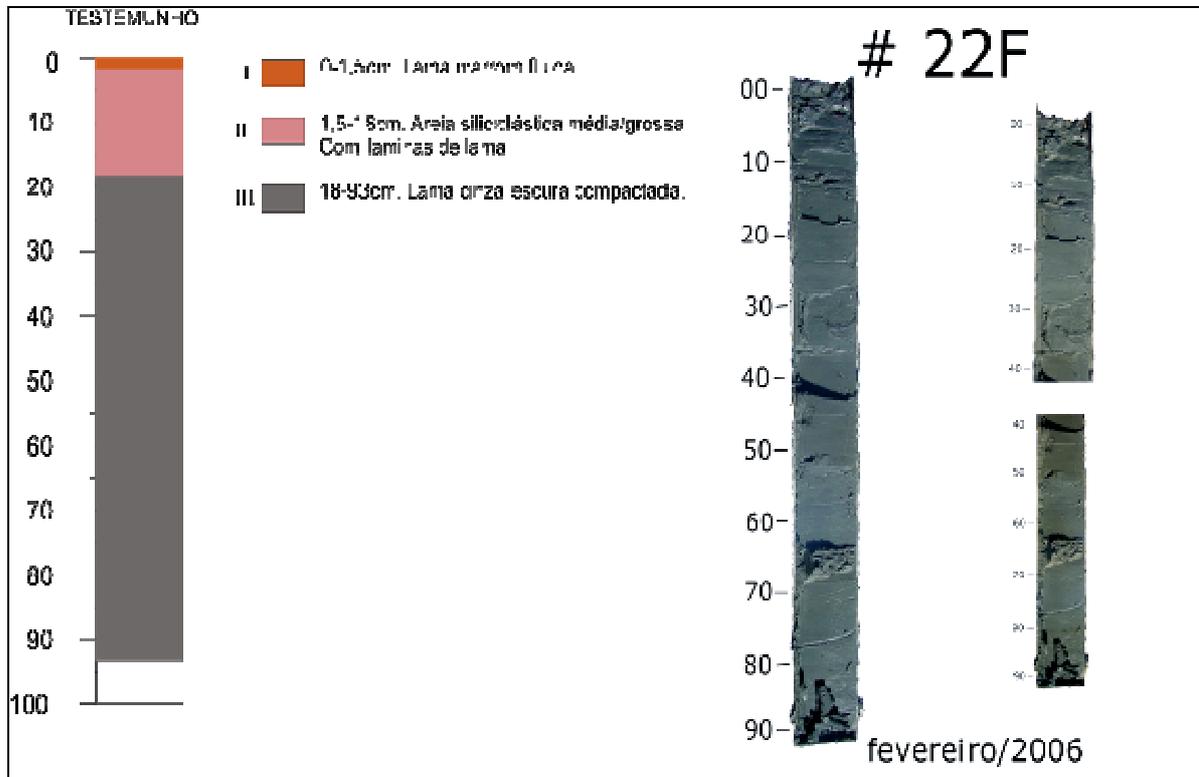


Figura 5.1.6-26 - Descrição do Testemunho (Amostra P22F)

Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-26).

# **22F I** - Sedimento lamo-arenoso (80,13% de lama). A fração areia apresentou-se muito fina (3,060 fi), com pobre grau de seleção (1,129 fi), assimétrica para o lado dos grossos (-0,424) e muito leptocúrtica (2,629).

# **22F II** - Lama (98,92% de lama). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (3,611 fi) e com moderado a bom grau de seleção (0,568 fi).

## AMOSTRA P27

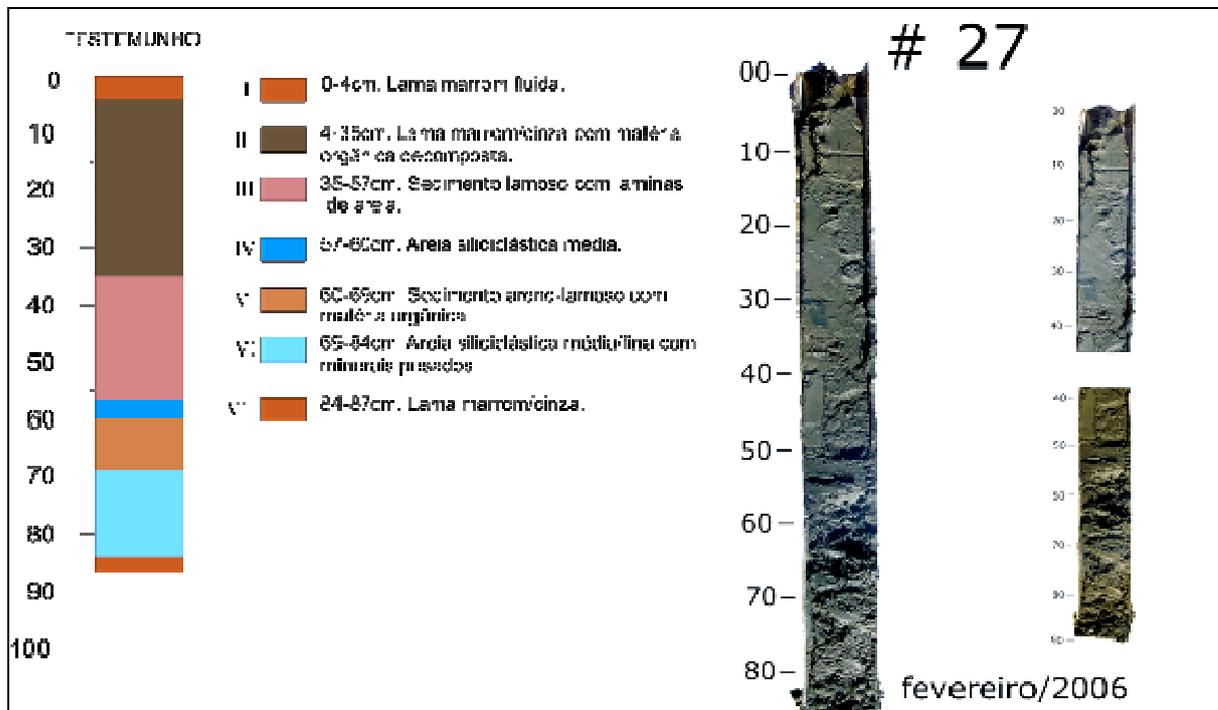


Figura 5.1.6-27 - Descrição do Testemunho (Amostra P27)

Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-27).

**# 27 I** - Lama (95,77% de lama). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (3,18 fi) e com moderado a bom grau de seleção (0,60 fi).

**# 27 II** - Lama (90,00% de lama). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (3,212 fi) e com bom grau de seleção (0,499 fi).

**# 27 VI** - Areias finas (2,001 fi) com fragmentos de bioclásticos (5,431%). A distribuição granulométrica apresentou-se com pobre grau de seleção (1,209 fi), assimétrica para o lado dos grossos (-0,678) e platicúrtica (1,37).

## AMOSTRA P27A

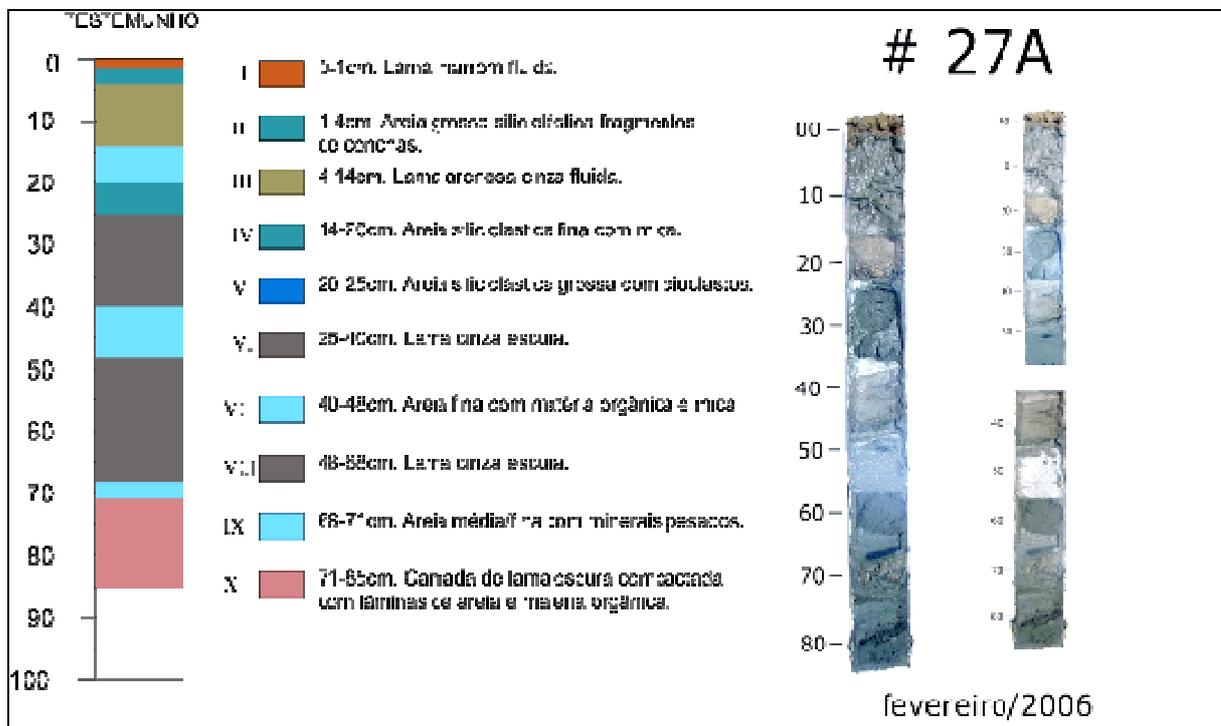


Figura 5.1.6-28 - Descrição do Testemunho (Amostra P27A)

Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-28).

**# 27A I** - Sedimento areno-lamoso, com 18,54% de lama e 5,22% de bioclastos. A fração areia apresentou-se grossa (0,584 fi), com pobre grau de seleção (1,260 fi), simétrica (-0,007) e platicúrtica (0,883).

Estas características correspondem às fácies I e II que foram coletadas juntas em função da pequena espessura das camadas.

**# 27A III** - Sedimento lamo-arenoso (73,89% de lama). A fração areia apresentou-se muito fina (3,01 fi), com moderado a bom grau de seleção (0,67 fi), assimétrica para o lado dos grossos (-0,39) e muito leptocúrtica (2,45).

**# 27A X** - Sedimento lamo-arenoso (53,12% de lama). A fração areia apresentou-se muito fina (3,063 fi), com moderado grau de seleção (0,764 fi), assimétrica para o lado dos grossos (-0,286) e muito leptocúrtica (2,030).

## AMOSTRA P27B

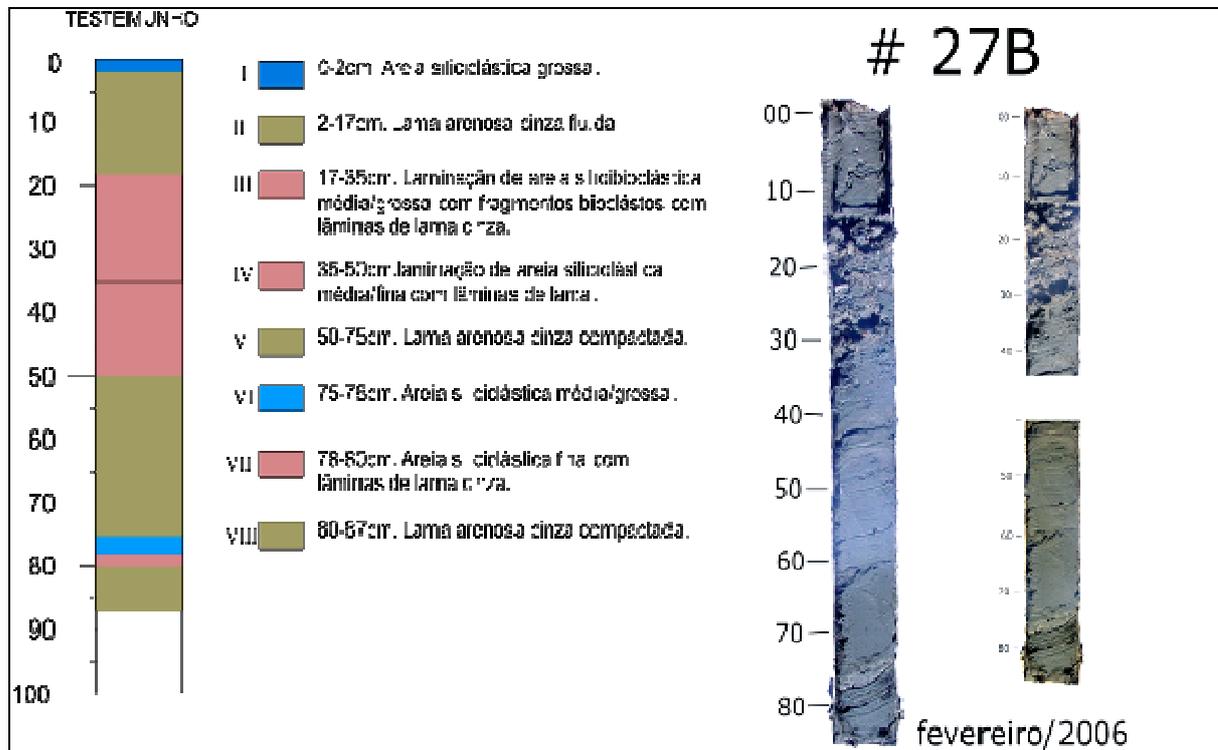


Figura 5.1.6-29 - Descrição do Testemunho (Amostra P27B)

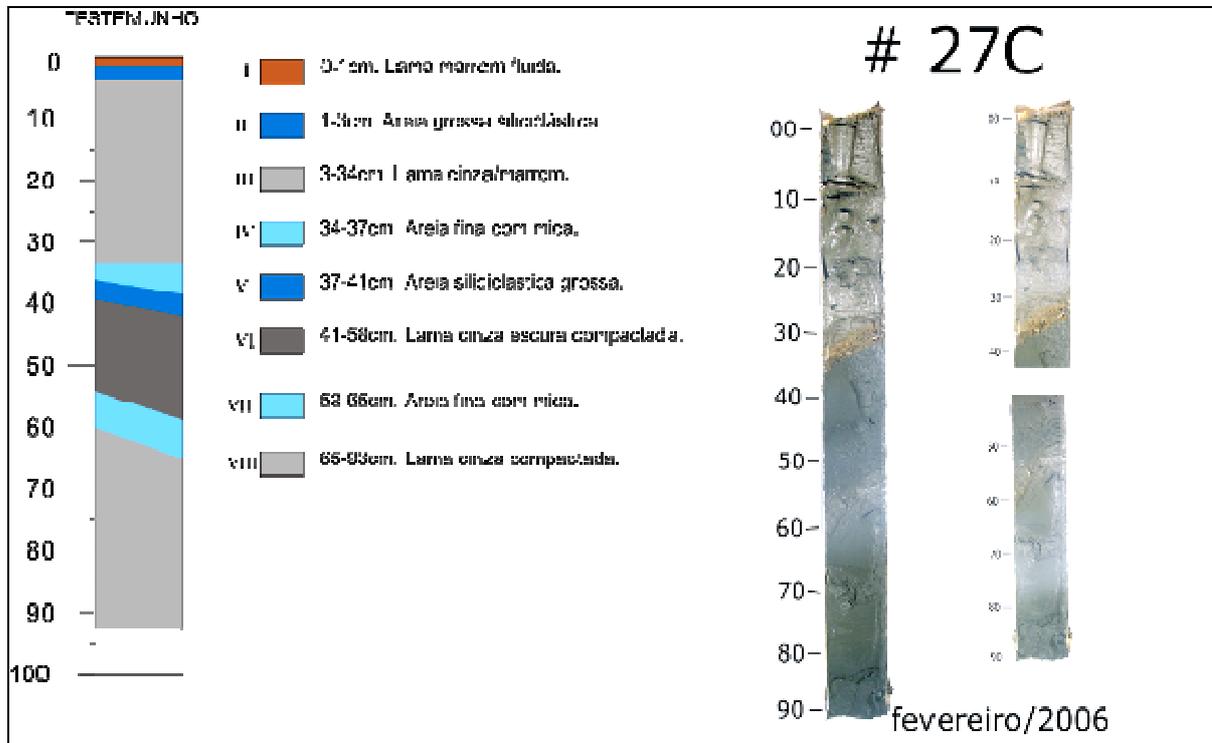
Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-29).

**# 27B I** - Areias grossas (0,809 fi) com abundantes fragmentos de bioclásticos (8,65%). A distribuição granulométrica apresentou-se com moderado grau de seleção (0,919 fi), assimétrica para o lado dos finos (0,125) e mesocúrtica (1,045).

**# 27B II** - Sedimento lamo-arenoso (80,59% de lama). A fração areia apresentou-se fina (2,55 fi), com pobre grau de seleção (1,26 fi), assimétrica para o lado dos grossos (-0,59) e leptocúrtica (1,25).

**# 27B VIII** - Sedimento lamo-arenoso (79,90% de lama). A fração areia apresentou-se fina (2,90 fi), com moderado a bom grau de seleção (0,66 fi), assimétrica para o lado dos grossos (-0,39) e muito leptocúrtica (1,84).

## AMOSTRA P27C



**Figura 5.1.6-30 -Descrição do Testemunho (Amostra P27C)**

Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-30).

**# 27C I** - Sedimento lamo-arenoso (68,62% de lama). A fração areia apresentou-se grossa (0,983 fi), com pobre grau de seleção (1,108 fi), assimétrica para o lado dos finos (0,147) e platicúrtica (0,876).

Fácies I e II coletadas juntas, conferindo a bimodalidade da amostra lama e areias grossas.

**# 27C VIII** - Lama (95,02% de lama). A pequena fração areia apresentou-se muito fina (3,132 fi) e com moderado a bom grau de seleção (0,615 fi).

## AMOSTRA P27D

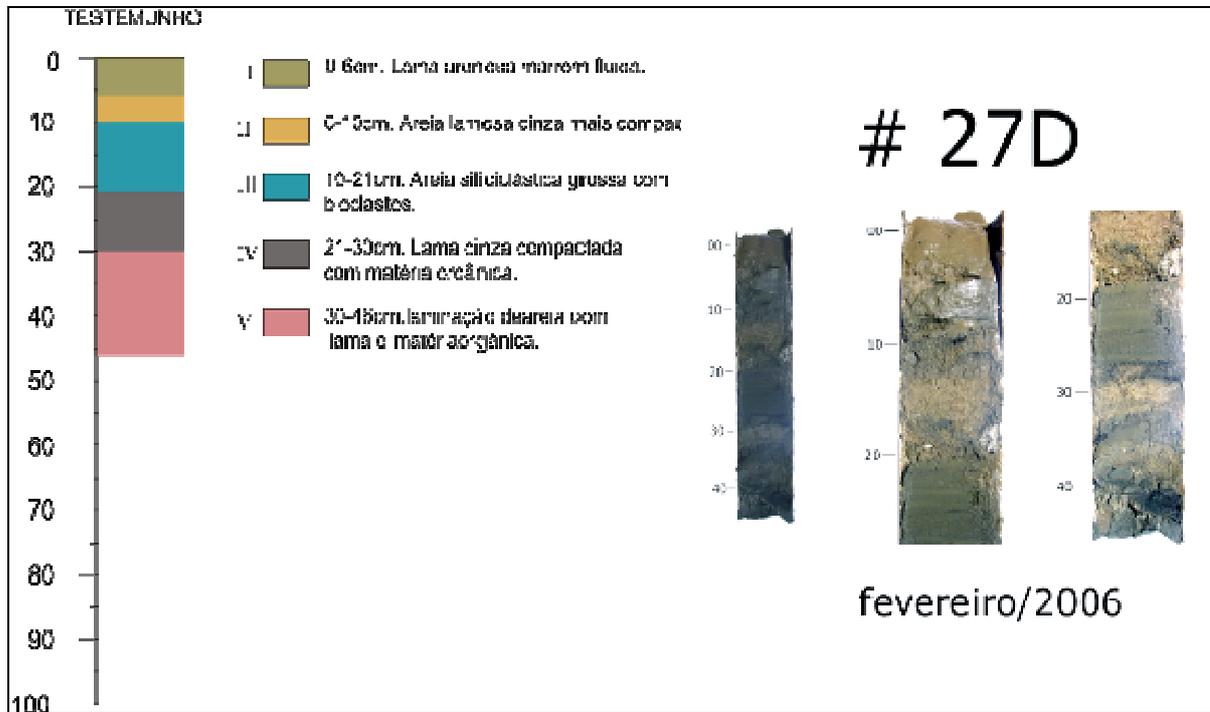


Figura 5.1.6-31 - Descrição do Testemunho (Amostra P27D)

Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-31).

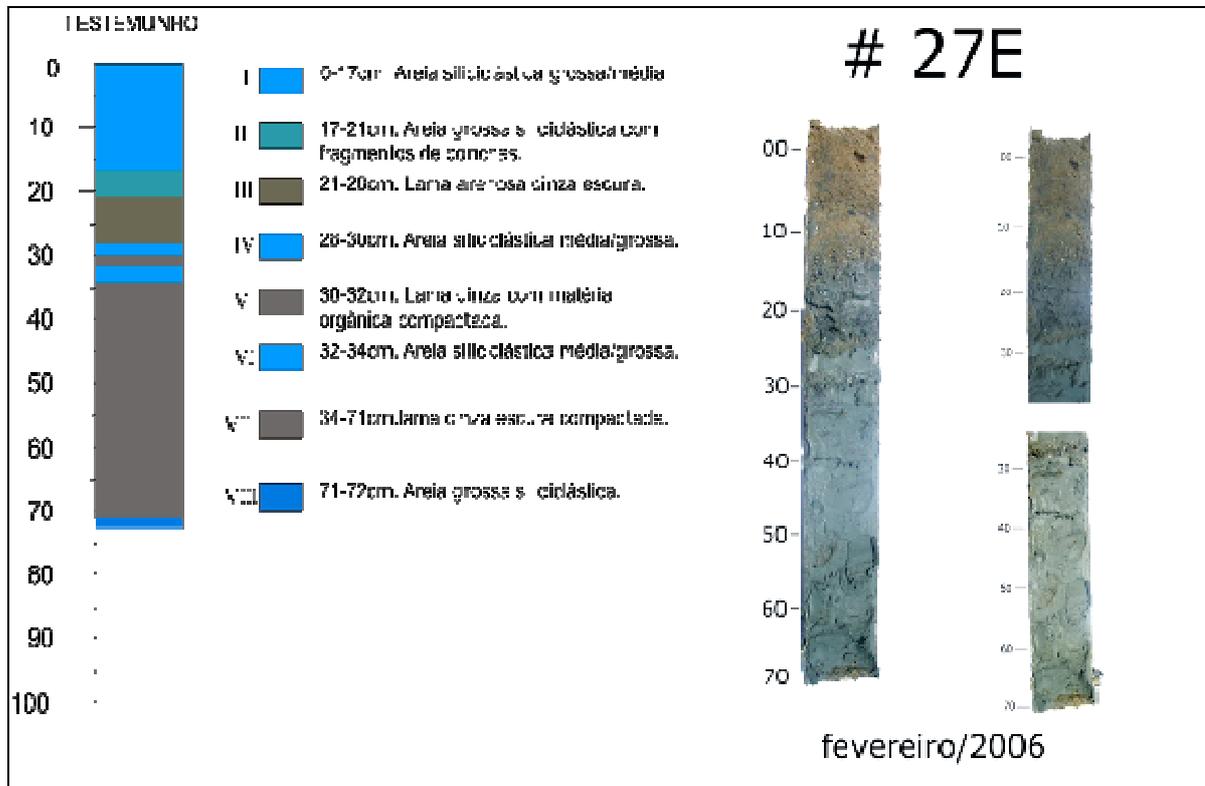
# **27D I** - Sedimento lamo-arenoso (88,33% de lama). A fração areia apresentou-se fina (2,036 fi), com moderado grau de seleção (0,860 fi), assimétrica para o lado dos grossos (-0,2149) e leptocúrtica (1,205).

# **27D II** - Sedimento areno-lamoso, com 45% de lama. A fração areia apresentou-se fina (2,912 fi), com moderado grau de seleção (0,876 fi), assimétrica para o lado dos grossos (-0,368) e leptocúrtica (1,196).

# **27D III** - Areias médias (1,65 fi) com fragmentos de bioclásticos (7,26%). A distribuição granulométrica apresentou-se com moderado grau de seleção (0,89 fi), assimétrica para o lado dos grossos (-0,32) e leptocúrtica (1,25).

# **27D V** - Sedimento areno-lamoso, com 16,57% de lama. A fração areia apresentou-se fina (2,415 fi), com pobre grau de seleção (1,040 fi), assimétrica para o lado dos grossos (-0,412) e mesocúrtica (1,094).

## AMOSTRA P27E



**Figura 5.1.6-32 - Descrição do Testemunho (Amostra P27E)**

Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-32)

**# 27E I** - Areias médias (1,024 fi) com fragmentos de bioclásticos (3,51%). A distribuição granulométrica apresentou-se com moderado grau de seleção (0,806 fi), assimétrica para o lado dos finos (0,198) e leptocúrtica (1,140).

**# 27E VII** - Lama (95,30% de lama). A pequena fração areia apresentou-se fina (2,08fi) e com pobre grau de seleção (1,86 fi).

## AMOSTRA P27F

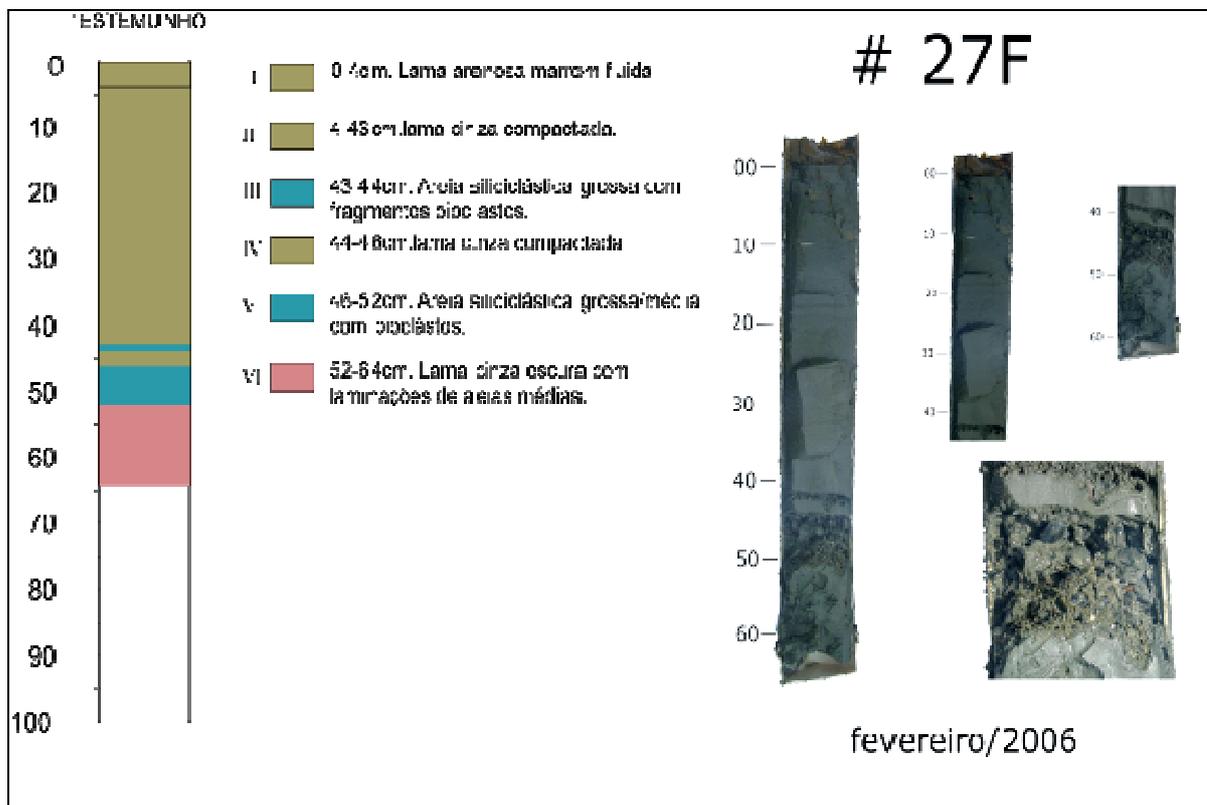


Figura 5.1.6-33 - Descrição do Testemunho (Amostra P27F)

Descrição dos sedimentos quanto à composição e à granulometria (Figura 5.1.6-33).

# **27F I** - Sedimento areno-lamoso, com 48,32 de lama. A fração areia apresentou-se média (1,67 fi), com moderado grau de seleção (0,99 fi), simétrica (-0,05) e platicúrtica (0,85).

# **27F VI** - Sedimento lamo-arenoso (72,75% de lama). A fração areia apresentou-se média (1,43 fi), com pobre grau de seleção (1,65 fi), assimétrica para o lado dos grossos (-0,12) e mesocúrtica (0,99).

### 5.1.6.3.4 Análise da distribuição dos sedimentos

As amostragens validam a gênese do delta de maré vazante do canal do Tomba quanto à origem de seus sedimento, já apresentada no item 5.1.5. Verificou-se que o delta de maré vazante do canal do Tomba é constituído essencialmente por areia que depositou-se sobre o substrato lamoso dos sedimentos que se acumularam ao largo da costa.

A análise das amostragens indica que os sedimentos arenosos predominam no delta de maré vazante, que tem correspondência na batimetria com aquelas isóbatas de traçado

convexo para o mar, as quais se estendem até uma profundidade em torno de 4 metros. A partir dos 4 metros de profundidade as isóbatas já exibem um traçado mais ou menos paralelo com à linha de costa. À partir deste ponto e de maneira brusca os sedimentos superficiais do fundo marinho apresentam teores de areia inferiores a 20%. A observação da Figura 5.1.6-3 e Figura 5.1.6-4, mostra claramente que o delta de maré vazante do Tomba é uma feição deposicional, constituída essencialmente por sedimentos arenosos, a qual avança mar adentro sobre sedimentos lamosos que predominam em profundidades superiores a 3 metros.

Outro aspecto de importância é que os sedimentos lamosos que ocorrem na face da costa, tanto em superfície quanto em sub-superfície, são constituídos predominantemente pela fração silte. Observações realizadas na porção sul da planície de Caravelas, tanto em afloramentos quanto em testemunhos à vibração realizados por Andrade (2000), mostram que os equivalentes desta fácies lamosa na planície costeira são lamas sílticas com abundantes estruturas sedimentares indicativas de retrabalhamento por ação de ondas (estratificação cruzada do tipo "hummocky" e laminação plano-paralela).

A amostra P10/2006, a mais próxima da desembocadura, foi extraída em uma profundidade de 6,25 m, em região que naturalmente se encontram profundidades superiores às requeridas pela dragagem (5,00 m). Nesta amostra, após uma fina camada de lama fluida de 2 cm, ocorre o aparecimento de uma camada de areia grossa, seguida por uma laminação de areia média e fina.

A amostra P14/2006 foi obtida em uma profundidade de 4,50 m na época da coleta. Assim, há necessidade de remoção desta região de até 0,50 m de camada sedimentar para que se consiga o gabarito de navegação. Observa-se que o perfil apresenta da superfície até 0,35 m de profundidade, areia grossa. A partir de 0,35 m ocorre algumas intercalações de lama, porém até a profundidade de 4,97 metros essencialmente verifica-se a ocorrência de areia. Assim, embora a mesma não esteja incluída na área permitida para o overflow, entende-se que o overflow nesta região poderia ser adequado.

Nos pontos P1 e P2, as amostras foram coletadas em profundidades de 4,50 e 4,70 metros respectivamente em 2006, no eixo central do canal de navegação. Após uma fina camada de lama fluída encontra-se areia muito grossa para a localidade de P1, sendo que para P2 o sedimento encontrado tem menor teor de areia com intercalação de areia siliciclástica fina a média. Ambos os pontos estão no interior da área de overflow, porém somente o P1 poderia apresentar vantagens na realização do mesmo, uma vez que P2 já apresenta na coluna sedimentar finos em grande proporção.

De qualquer modo, deve-se ressaltar que a profundidade em que se encontra o sedimento com menor teor de areia em P2 está bem próxima da exigida pelo gabarito e encontra-se no

eixo do canal. As amostras de P2A a P2C também encontram-se em profundidades maiores, na soleira do canal e apresentam comportamento semelhante à P2. Já as amostras de P2D a P2F apresentam mesmo em camadas mais rasas sedimentos finos, não adequados ao overflow. De fato, o assoreamento desta região ocorre pelo transporte das areias que se dá de SW para NE, de forma que no talude de SW do canal os depósitos arenosos demonstram maiores que no lado de NE, devido à migração do canal.

A amostragem dos outros pontos ao largo do canal apresenta camadas com gradativa maior participação de lamas, porém intercaladas com areias bem selecionadas.

O fato de a ocorrência da areia ocorrer em camadas bem selecionadas (veja sub-amostra do ponto P1-II no interior da área de overflow em 2006), não misturadas à lamas, permite que o overflow continue sendo vantajoso e adequados em alguns trechos do canal. Porém, à medida que o canal aproxima-se de sua profundidade de projeto, estas áreas em que se pode aplicar o overflow estão reduzindo-se as zonas do talude do canal, que ainda não sofreram dragagem e que sofrem com assoreamento arenoso oriundo da deriva litorânea.

Acredita-se que a delimitação de área de overflow estudada em 2004 continue sendo adequada. De fato, o controle do overflow tem sido rígido por parte da fiscalização, que não admite esta operação em fundos que não sejam essencialmente arenosos, embora, neste aspecto não exista conflitos, uma vez que economicamente o overflow não é vantajoso em áreas não arenosas.

A partir do levantamento da granulometria de 2005 pode-se caracterizar a zona do entorno do canal de acesso. A amostragem de 2005 compreende além dos mesmos pontos do interior do canal já apresentados pelo levantamento de 2006, uma série de pontos dispostos em dois transectos paralelos e distantes de aproximadamente 100 m dos limites do canal de acesso, um para cada lado do canal. A caracterização completa, conforme comentado, encontra-se em Campbell, *et al.*, (2005).

Os pontos P16/2005 e P17/2005, que estão posicionados ao lado da área permitida do overflow, em região em que não foram realizadas dragagem, ainda apresentam camadas profundas de sedimento arenoso, principalmente de areia siliciclástica grossa e média. O mesmo pode ser verificado para os pontos P18/2005, P20/2005, P21/2005, P23/2005, P24/2005, P25/2005, P26/2005 e P28/2005. A partir destes pontos, indo para o largo, as espessuras da camada arenosa diminuem até desaparecer, apresentado daí por diante ocasionalmente finas camadas de deposição arenosa. Observa-se também que as amostras de SW apresentam maiores teores de areia que as amostras de NE, mesmo quando no mesmo alinhamento, indicando, como comentado para os Pontos do alinhamento P2, que os sedimentos oriundos da deriva litorânea, pelo seu sentido influenciam com maior magnitude a margem SW do canal de acesso.

Após a conclusão da dragagem, o fundo do canal (sem considerar os taludes) exposto poderia ser caracterizado como totalmente lamoso (predominantemente pela fração silte), não fosse o constante assoreamento que ocorre devido a presença da cava, que atua como uma eficiente armadilha para os sedimentos arenosos, na região entre as estações 2.000 e 4.000. Nesta área, as correntes de maré não permitem a sedimentação significativa de material coesivo. A citada região, que anteriormente era ocupada por sedimentos arenosos do delta de maré vazante, estará sempre sendo recoberta por sedimentos arenosos, oriundos do transporte litorâneo longitudinal que se processa nessa região paralela à linha de costa.

Assim, após a dragagem, entende-se que os trechos 2 e 3 (vide item 3.6 para definição dos trechos) continuarão apresentando em superfície sedimentos arenosos no fundo e nos taludes, embora no fundo possam constituir-se de uma fina camada arenosa, ligada à taxa de assoreamento. Após uma rápida transição, após o final do trecho 3, espera-se para os trechos 4 e 5 a presença de fundo lamoso, seja de sedimentos depositados recentemente ou da superfície exposta pela dragagem.

Pode-se observar da comparação das amostragens de 2005 e 2006 que o retorno do material nos trechos segue o padrão:

- Material arenoso – trechos 1 a 3;
- Material Lamoso – trecho 4 a 5.

Futuramente, pode-se esperar que nos trechos 1 a 3, o overflow possa continuar a ser praticado, uma vez que a manutenção resultará na retirada do material assoreado, constituído por areia. Entretanto, provavelmente o trecho adequado deverá ser muito restrito, pois somente será conveniente em local de maior espessura localizada de assoreamento. Saliencia-se que a dragagem de camadas que apresentam sedimentos lamosos, mesmo no interior da área permitida para overflow, atualmente é executada sem a operação do mesmo, pois é contraproducente e aumenta a turbidez local.

#### **5.1.6.4 Coeficiente de Empolamento**

A cubagem do material dragado tem sido realizada a partir dos volumes de sedimentos dragados em cisterna. Uma vez que os volumes licenciados são para condição *in situ*, há a necessidade de se converter os quantitativos de cisterna (empolados) para *in situ*.

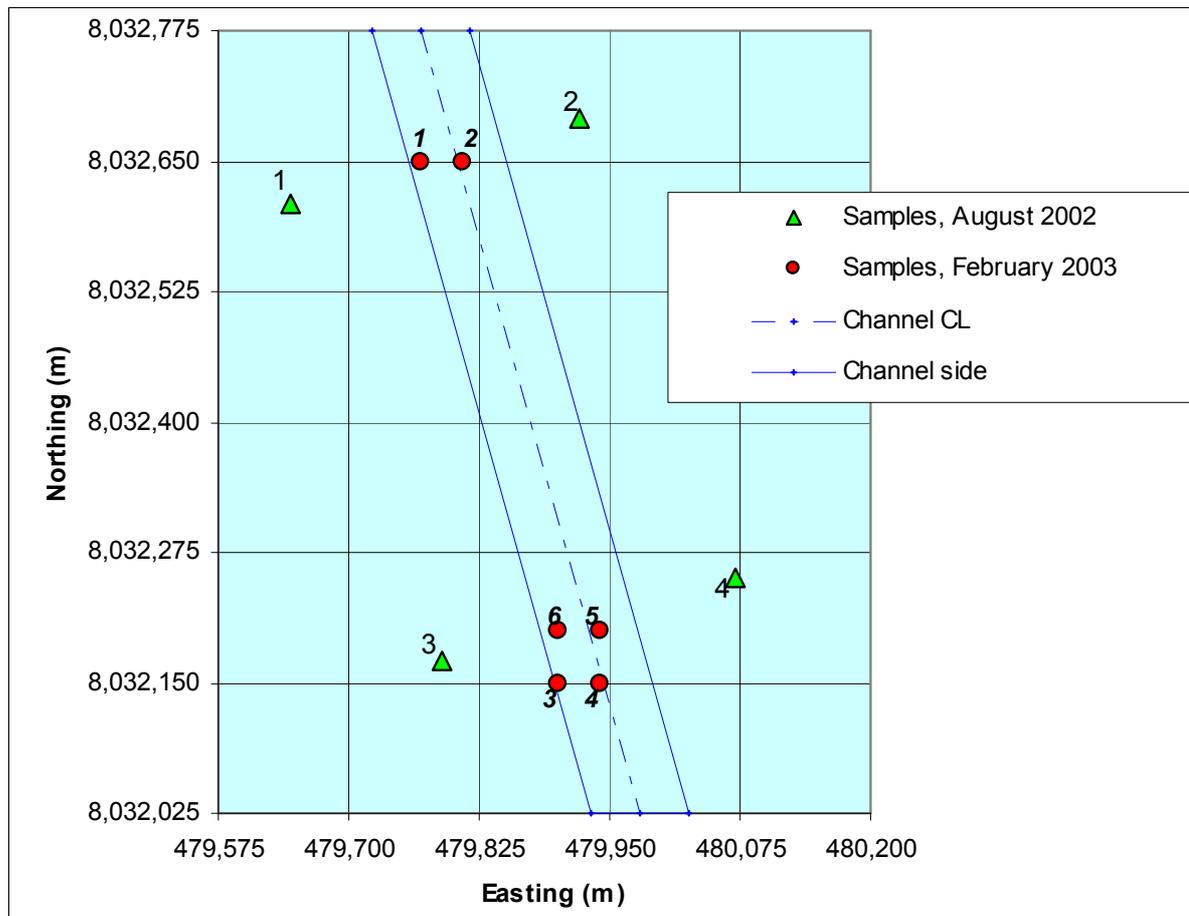
O empolamento consiste no aumento do volume sofrido pelo sedimento do seu estado natural, não perturbado, para o estado solto ao ser transportado, ou seja dragado. No

processo de dragagem ocorre o aumento do índice de vazios entre as partículas sólidas que ocorre devido à incorporação de ar e água na mistura.

A conversão entre o material de cisterna e *in situ* é executada através do coeficiente de empolamento, sendo que este pode ser estimado através de análises laboratoriais.

Quando os sedimentos são essencialmente arenosos, os fatores de empolamento usuais situam-se entre 1,05 (areias de deposição recente) até 1,35 (areias fortemente consolidadas). No atual estudo tem-se utilizado para as regiões arenosas o coeficiente de 1,25, o qual tem se apresentado adequado. Quando se trata de sedimentos finos coesivos, os coeficientes de empolamento apresentam maior variabilidade, podendo usualmente atingir valores de 2,5 ou mais (Bray, 1997).

Assim, para os sedimentos lamosos, foram analisadas amostras de sedimento não perturbado, coletadas em 08 de agosto de 2002 e amostras de sedimentos em locais que sofreram assoreamentos pós-dragagem no canal, coletadas em 23 de fevereiro de 2003. A Figura 5.1.6-34 apresenta os locais de coleta.

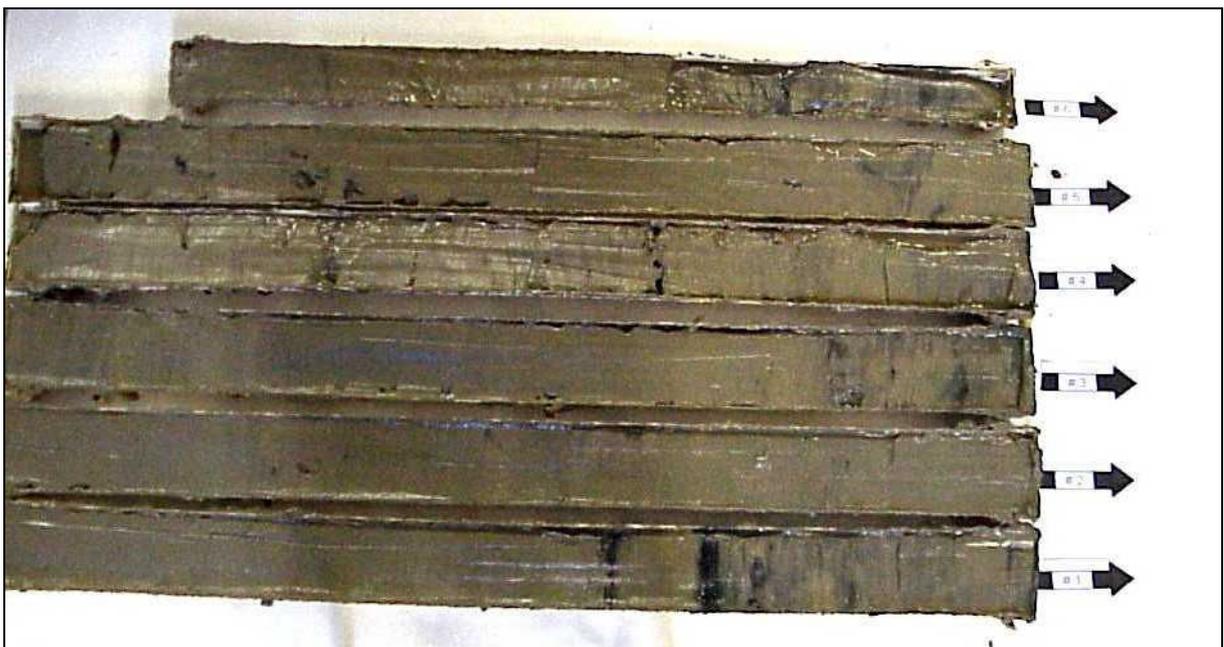


**Figura 5.1.6-34 - Pontos de coleta de sedimentos (Datum WGS-84 – UTM24S) – Localizadas no trecho 4, já nas proximidades do trecho 5**

A Figura 5.1.6-35 e a Figura 5.1.6-36 apresentam as amostras, nas quais pode-se notar uma coluna de sedimentos bem homogêneos. A cor escura dos testemunhos de 2002, sedimento original não perturbado, indica a presença de matéria orgânica, que foi menos encontrada no material de deposição mais recente amostrado no interior do canal.



**Figura 5.1.6-35 -Amostras 1 a 4 coletadas em agosto de 2002 – Tubos com 1 m de comprimento**



**Figura 5.1.6-36 -Amostras 1 a 4 coletadas em fevereiro de 2003 – Tubos com 1 m de comprimento**

Desta forma, podem-se calcular os coeficientes de empolamento para os sedimentos não perturbados que ainda precisam ser dragados no canal, como também para os sedimentos provenientes de áreas já dragadas anteriormente e assoreadas posteriormente, que também precisam ser dragados para a manutenção do canal de acesso. As amostras usadas para as análises foram extraídas dos tubos nas alturas de 0,25 m a 0,85 m consideradas a partir do

topo dos mesmos. A Tabela 5.1.6-6 e a Tabela 5.1.6-7 apresentam os resultados obtidos das análises laboratoriais.

**Tabela 5.1.6-6 - Análise das amostras de agosto de 2002**

		Análise de Laboratório			Resultados Derivados				
					Por cm <sup>3</sup> da amostra				Coef. Empol. depois de 72 h
Amostra (n <sup>o</sup> )	Prof. (m)	Densid. (g/m <sup>3</sup> )	Decant. (%)	% Matéria seca	Matéria seca(g)	Água (g)	Matéria seca (cm <sup>3</sup> )	Densid. grão	
1	0,25	1,354	67	40,7	0,55	0,80	0,20	2,80	2,68
2	0,25	1,345	53	39,6	0,53	0,81	0,19	2,84	2,12
3	0,25	1,345	57	37,8	0,50	0,82	0,18	2,85	2,28
4	0,25	1,330	54	38,2	0,51	0,82	0,18	2,85	2,16
<b>Média</b>	<b>0,25</b>	<b>1,339</b>	<b>58</b>	<b>39,1</b>	<b>0,52</b>	<b>0,82</b>	<b>0,18</b>	<b>2,83</b>	<b>2,31</b>
1	0,85	1,312	57	37,4	0,49	0,82	0,18	2,75	2,28
2	0,85	1,387	69	43,3	0,60	0,79	0,21	2,81	2,76
3	0,85	1,371	68	41,9	0,57	0,80	0,20	2,82	2,72
4	0,85	1,395	64	44,0	0,61	0,78	0,22	2,81	2,56
<b>Média</b>	<b>0,85</b>	<b>1,366</b>	<b>65</b>	<b>41,7</b>	<b>0,57</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>2,80</b>	<b>2,58</b>
<b>Média Geral</b>		<b>1,352</b>	<b>61</b>	<b>40,4</b>	<b>0,55</b>	<b>0,81</b>	<b>0,19</b>	<b>2,82</b>	<b>2,45</b>

**Tabela 5.1.6-7 – Análise das amostras de Fevereiro de 2003**

Análise de Laboratório					Resultados Derivados				
Amostra (nº)	Prof. (m)	Densid. (g/m <sup>3</sup> )	Decant. (%)	% Matéria seca	Por cm <sup>3</sup> da amostra				Coef. Empol. depois de 72 h
					Matéria seca(g)	Água (g)	Matéria seca (cm <sup>3</sup> )	Densid. grão	
1	0,25	1,285	41	35,1	0,45	0,83	0,17	2,72	1,64
2	0,25	1,330	51	37,7	0,50	0,83	0,17	2,93	2,04
3	0,25	1,278	41	34,9	0,45	0,83	0,17	2,65	1,64
4	0,25	1,325	41	41,2	0,55	0,78	0,22	2,47	1,64
5	0,25	1,295	40	37,3	0,48	0,81	0,19	2,57	1,60
6	0,25	1,250	38	33,7	0,42	0,83	0,17	2,46	1,52
<b>Média</b>	<b>0,25</b>	<b>1,294</b>	<b>42</b>	<b>36,7</b>	<b>0,47</b>	<b>0,82</b>	<b>0,18</b>	<b>2,63</b>	<b>1,68</b>
1	0,85	1,349	58	41,2	0,56	0,79	0,21	2,69	2,32
2	0,85	1,346	48	42,2	0,57	0,78	0,22	2,56	1,92
3	0,85	1,357	52	41,7	0,57	0,79	0,21	2,71	2,08
4	0,85	1,308	44	38,5	0,50	0,80	0,20	2,57	1,76
5	0,85	1,318	47	40,0	0,53	0,79	0,21	2,52	1,88
6	0,85	1,356	50	39,3	0,53	0,82	0,18	3,01	2,00
<b>Média</b>	<b>0,85</b>	<b>1,339</b>	<b>50</b>	<b>40,5</b>	<b>0,54</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>2,68</b>	<b>1,99</b>
<b>Média Geral</b>		<b>1,316</b>	<b>46</b>	<b>38,6</b>	<b>0,51</b>	<b>0,81</b>	<b>0,19</b>	<b>2,65</b>	<b>1,84</b>

Os resultados apresentam um coeficiente de empolamento geralmente mais baixo nos sedimentos assoreados no canal em relação aos sedimentos originais. As amostras do canal em 2003 apresentaram-se mais dispersas, com menor densidade e menor percentagem de matéria seca em comparação com o sedimento original 2002, indicando, como poderia se esperar, que os sedimentos recentemente depositados são menos consolidados que os sedimentos originais. O valor para o coeficiente de empolamento para os sedimentos finos coesivos não perturbados foi estimado em 2,45, enquanto que para o sedimento lamoso oriundo de deposição recente em 1,84.

O coeficiente de empolamento de 2003, de 1,84, corresponde ao processo de deposição e consolidação ocorrido entre julho de 2002 e fevereiro de 2003. Se o sedimento for deixado por um tempo mais longo, o processo de consolidação continuará até que as características tornem-se similares ao sedimento original.

Nas novas amostras, assim como nas originais, percebeu-se que as amostras superiores (0,25m) possuem densidades inferiores às mais baixas, indicando que o processo de consolidação é mais avançado nos níveis mais baixos.

Como o canal atingiu suas dimensões de implantação apenas recentemente, grande parte de material dragado ainda consistiu de solo não perturbado com coeficiente de empolamento de 2,45, de forma que ainda se utilizou este valor de coeficiente nos cálculos volumétricos da 7ª Campanha de dragagem. O coeficiente de 1,84 não pode ser considerado para as dragagens de manutenção, pois é válido apenas para uma consolidação de seis meses, metade do tempo inferior previsto para a periodicidade das mesmas. Pelos resultados obtidos em 2002 e 2003, estima-se que o coeficiente a ser utilizado para os sedimentos lamosos deva se situar entre 1,84 e 2,45. Entretanto, somente decorrido certo tempo após a implantação, que ocorreu na 7ª Campanha de dragagem, novas análises poderão ser executadas para a definição de um coeficiente de empolamento mais adequado.

#### **5.1.6.5 Caracterização Geoquímica e Ecotoxicológica do Sedimento das áreas a serem dragadas e das áreas de descarte, comparando com local de condições pristinas – área de referência regional, em conformidade com a resolução CONAMA 344/04.**

Em novembro de 2003 foram realizadas 17 amostragens de sedimento no litoral de Caravelas/BA, incluindo o canal dragado, para a execução de análise de metais pesados. A amostragem de sedimentos foi realizada pela empresa Enterpa Engenharia de acordo com metodologia e supervisão do Danish Hydraulic Institute (DHI).

Os sedimentos foram primeiramente secos em estufa a 60°C e em seguida digeridos em forno microondas com uma solução ácida de HCl e HSO<sub>4</sub> na proporção 3:1. Os metais Alumínio, Arsênio, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Níquel, Prata e Zinco foram lidos em AAS, já o Cádmiio e Chumbo em Forno Grafite. A análise de Mercúrio seguiu metodologia do EPA (Environmental Protection Área).

Os resultados das concentrações dos metais foram expressos em ug/g de PS e comparados com os valores dos níveis 1 e 2 (valores limiares acima do qual se prevê um provável efeito adverso à biota) estabelecidos na resolução CONAMA 344/04, que estabelece os critérios de qualidade objetivando a classificação do material a ser dragado.

A caracterização geoquímica dos sedimentos é apresentada na Tabela 5.1.6-8.

Os resultados encontrados nas estações 1 a 5 e 13 apresentaram variações espaciais similares para Alumínio, Ferro, Manganês e Níquel, cujas concentrações apresentaram maiores valores nestas estações. Esta variação de Al e Fe indicam a presença de fontes naturais provenientes do rio Caravelas, assim como para o Mn, que demonstra a presença natural desse metal na região. Todos os valores de Níquel se encontram abaixo do nível 2 da resolução CONAMA 344/04.

As concentrações encontradas de cádmio, cobre, chumbo, cromo, zinco, mercúrio e prata foram bem inferiores aos valores do nível 2 estabelecidos na Resolução CONAMA 344/04. Todas as amostras apresentaram concentrações não detectáveis de arsênio.

**Tabela 5.1.6-8 - Caracterização Geoquímica - Concentração de Metais Pesados nos Sedimentos**

Resultado das concentrações(ug/g PS) de metais pesados acumulados no sedimento											
EST.	METAIS										
	Al	As	Cd	Cu	Cr	Fe	Pb	Mn	Ni	Ag	Zn
1	145100,0	< 5	1,7	12,1	120,0	52405,0	21,7	910,0	41,4	2,7	61,1
2	92750,0	< 5	1,4	9,6	175,0	45320,0	17,4	2110,0	34,9	0,3	48,1
3	93000,0	< 5	1,6	10,0	25,0	45875,0	18,4	725,0	35,9	2,4	51,2
4	95250,0	< 5	1,6	9,9	75,5	46520,0	17,7	790,0	36,2	0,5	50,8
5	94400,0	< 5	1,7	9,8	82,5	45455,0	19,7	650,0	36,2	2,3	51,0
6	2900,0	< 5	0,6	1,4	9,5	11265,0	4,2	190,0	10,7	nd	11,3
7	41900,0	< 5	1,5	5,1	38,5	27115,0	9,4	284,0	22,3	nd	26,4
8	3550,0	< 5	1,2	1,5	11,0	11830,0	2,7	115,0	11,6	nd	12,6
9	48050,0	< 5	1,6	5,5	45,0	31455,0	10,8	327,0	24,0	nd	29,0
10	1600,0	< 5	0,9	0,8	4,5	4775,0	1,8	77,5	10,0	nd	5,7
12	900,0	< 5	0,7	0,6	2,5	2070,0	0,8	26,0	8,9	nd	5,2
13	87000,0	< 5	2,1	9,0	71,5	45755,0	18,0	1370,0	34,5	0,6	55,2
14	8400,0	< 5	1,0	2,2	14,5	9260,0	3,0	120,5	14,3	0,4	20,2
15	850,0	< 5	0,6	0,7	1,0	1400,0	0,6	25,5	6,7	nd	10,2
16	2050,0	< 5	0,5	3,7	6,5	1460,0	5,0	93,0	12,0	0,5	25,6
17	550,0	< 5	0,9	0,4	1,5	675,0	1,0	17,5	8,3	0,2	8,3
18	400,0	< 5	0,8	1,3	1,5	650,0	0,7	12,0	8,6	0,2	5,7

De acordo com as diretrizes gerais para a classificação do material dragado estabelecidas na Resolução CONAMA 344/04, concluiu-se que todos os valores encontrados estavam abaixo do nível considerado como causador de prováveis efeitos adversos para a biota (nível 2), isto é, sempre inferiores aos níveis 1 ou 2. Desta maneira pode-se afirmar que os sedimentos da região monitorada, inclusive das estações localizadas no canal de dragagem (1, 2, 4, 8, 13 e 17) encontram-se com concentrações baixas e normais de metais pesados. Nas estações de 1 a 5 e 13 os resultados de ferro, alumínio e manganês demonstram uma influência de aporte natural destes metais, visto que correspondem a metais típicos de aportes continentais.

Tendo em vista os resultados favoráveis das análises de metais pesados e da existência de um monitoramento contínuo, que não verificou a existência de danos à biota advindos de poluentes presentes no material disposto, de acordo com o Art. 13º, a caracterização ecotoxicológica prevista no inciso III do Art. 7º da resolução supramencionada pode ser dispensada.

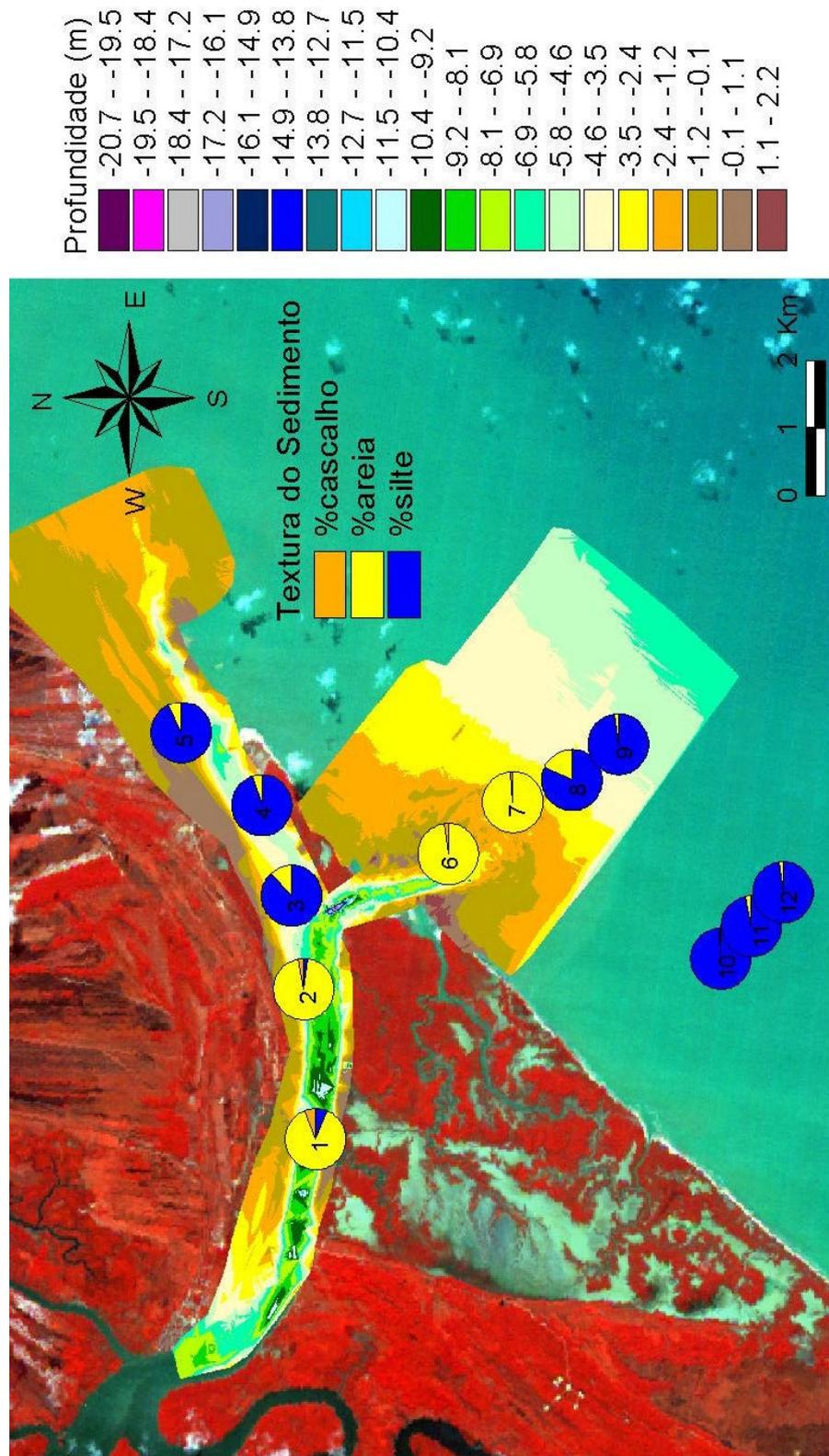
#### **5.1.6.6 Identificação, localização e descrição das prováveis áreas de descarte do material dragado**

##### *5.1.6.6.1 Considerações Gerais*

Diferentemente de outros estudos ambientais, em que a obra ainda está para ser realizada, o presente estudo se insere na condição em que várias operações de dragagem já foram executadas. As alternativas locais e descrição da área de descarte foram inicialmente apresentadas em CEPENAR (2001) e a partir de então outros estudos complementares foram realizados de forma a complementar o Estudo de Impacto Ambiental (veja item 3.6).

##### *5.1.6.6.2 Textura do Sedimento de Fundo*

Três amostras de sedimentos coletadas na área de descarte (pontos de amostragem nº 10, 11 e 12 do EIA apresentado em 2001), mostram que, nesta região, o fundo submarino é constituído essencialmente por lamas silteicas, muito semelhantes àquelas que ocorrem na porção externa do delta de maré vazante do canal do Tomba, veja a Figura 5.1.6-37. Atualmente, a composição textural da área de descarte foi alterada superficialmente devido aos despejos dos sedimentos dragados que continham frações arenosas, antes praticamente inexistentes na área. Tais sedimentos, conforme já comentado, encontram-se mais concentrados no quadrante NW da referida área.



**Figura 5.1.6-37 - Textura do Sedimento de Fundo – Pontos 10, 11 e 12 cobrem a Área de Descarte**

#### 5.1.6.6.3 *Condições de profundidade, volumetria e morfologia atuais*

O item 3.1.4.1 apresenta um resumo histórico das alternativas locais e estudos realizados, cujos detalhes encontram-se no item 3.6.5. O item 3.1.6.1 apresenta resumidamente os resultados do monitoramento da Área de Descarte e o item 3.6.3.4 apresenta em detalhe a localização da mesma.

O prosseguimento do monitoramento da Área de Descarte como também os estudos complementares realizados puderam confirmar que a continuidade da disposição dos sedimentos dragados no mar, utilizando-se da atual área de descarte, representa a melhor alternativa na atualidade.

Tendo em vista que itens anteriores já detalharam a localização e os estudos da área de descarte, o presente item apresenta as informações sedimentológicas, batimétricas e detalha os monitoramentos realizados em 2007.

As plantas 3 a 6 do Anexo R apresentam a batimetria de alta resolução das últimas sondagens realizadas para a Área de Descarte, quais sejam:

- Pré-dragagem – levantamento no início de fevereiro de 2007 (Planta 3);
- Pós-dragagem – levantamento no início de abril de 2007 (Planta 4);
- Três meses após o término da dragagem de fevereiro e março de 2007 – levantamento no início julho de 2007 (Planta 5);
- Seis meses após o término da dragagem de fevereiro e março de 2007 – levantamento no início novembro de 2007 (Planta 6).

A partir da comparação destas batimetrias da Área de Descarte, realizadas antes e após os despejos provenientes da dragagem, pode-se avaliar a evolução dos fundos e verificar sua compatibilidade com o assoreamento resultante esperado da disposição do sedimento dragado nesta área.

A Figura 5.1.6-38, Figura 5.1.6-39, Figura 5.1.6-40 e a Figura 5.1.6-41 apresentam, respectivamente, uma visualização tridimensional das batimetrias pré-dragagem, pós-dragagem, de três meses e de 6 meses após o término da dragagem realizada em fevereiro e março de 2007. A Figura 5.1.6-42 apresenta um comparativo batimétrico entre as batimetrias pré-dragagem e pós-dragagem, enquanto que a Figura 5.1.6-43 apresenta um comparativo batimétrico entre as batimetrias pré-dragagem e seis meses após a dragagem. De forma a se tornar possível uma melhor visualização das feições do fundo, todas as figuras tridimensionais foram exageradas em 100 vezes na vertical.

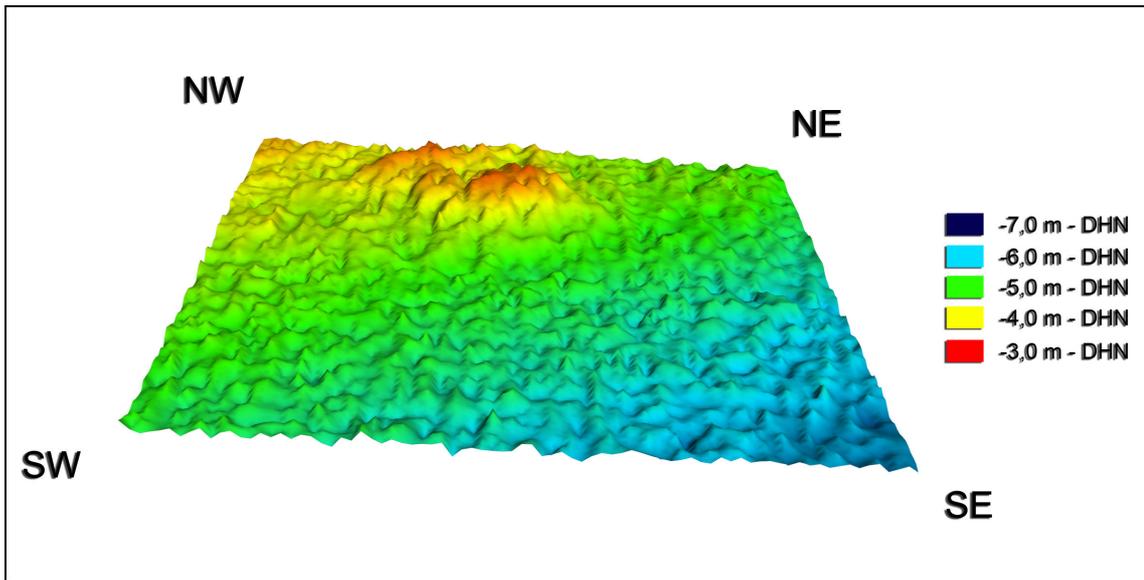


Figura 5.1.6-38 - Batimetria Pré-Dragagem - Vista tridimensional (Distorção de 100x na vertical)

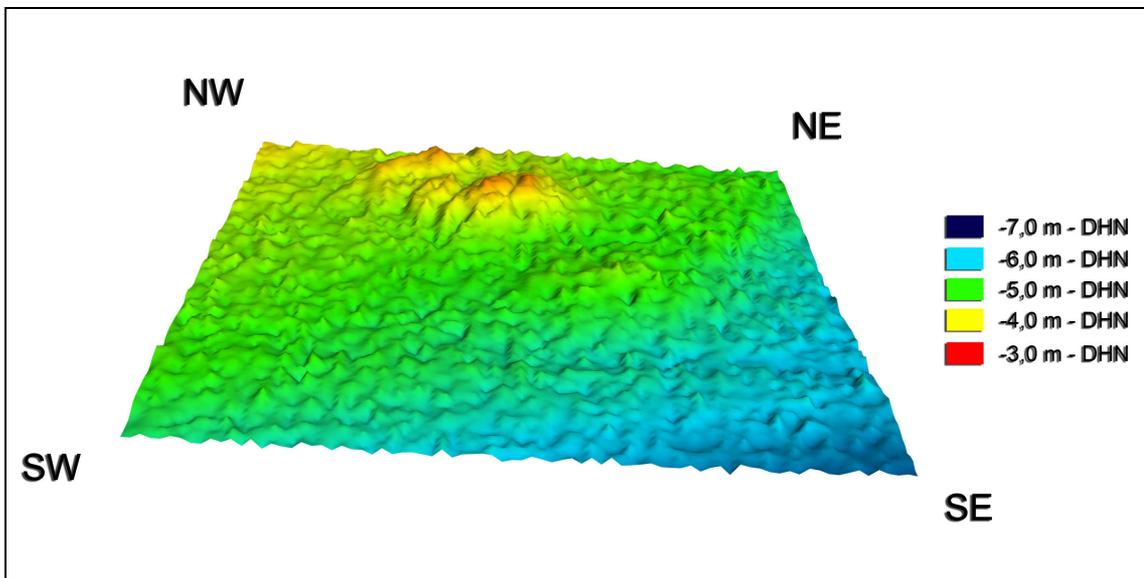


Figura 5.1.6-39 - Batimetria Pós-Dragagem - Vista tridimensional (Distorção de 100x na vertical)

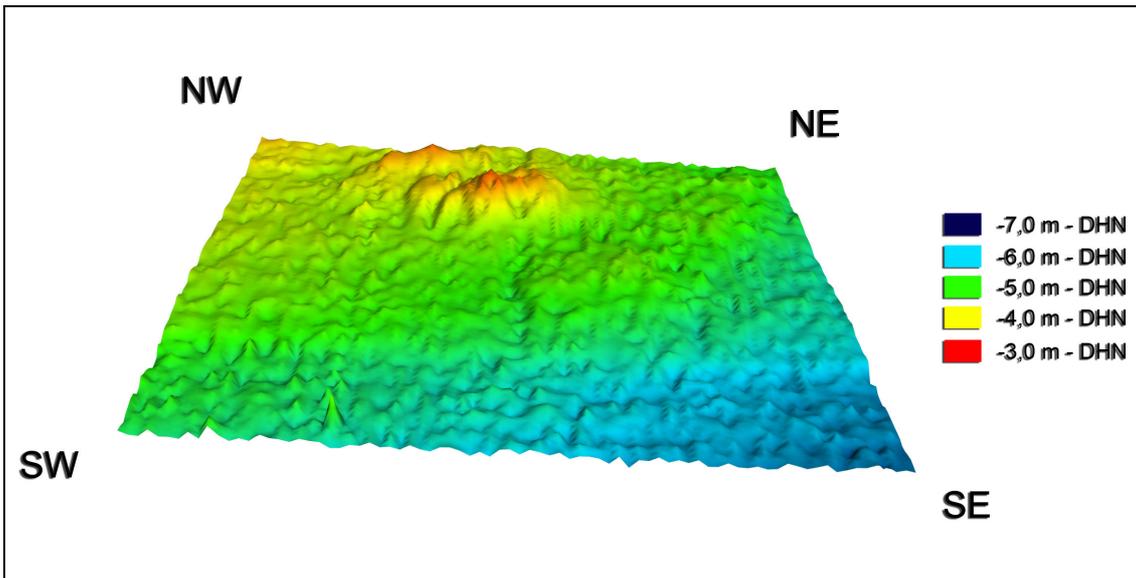


Figura 5.1.6-40 - Batimetria Três meses após o término da dragagem - Vista tridimensional (Distorção de 100x na vertical)

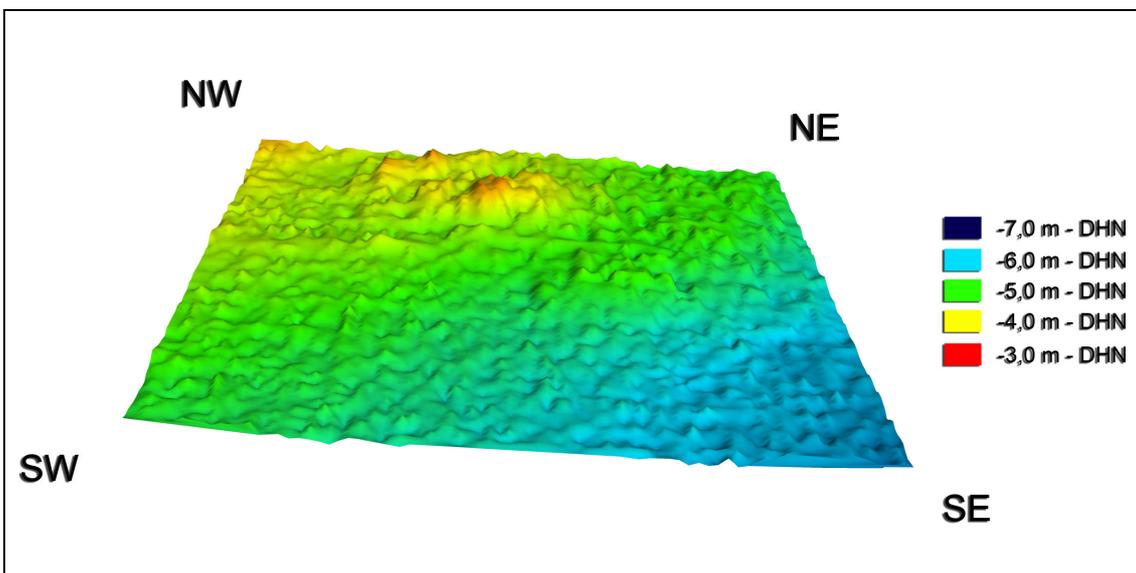


Figura 5.1.6-41 - Batimetria Seis meses após o término da dragagem - Vista tridimensional (Distorção de 100x na vertical)

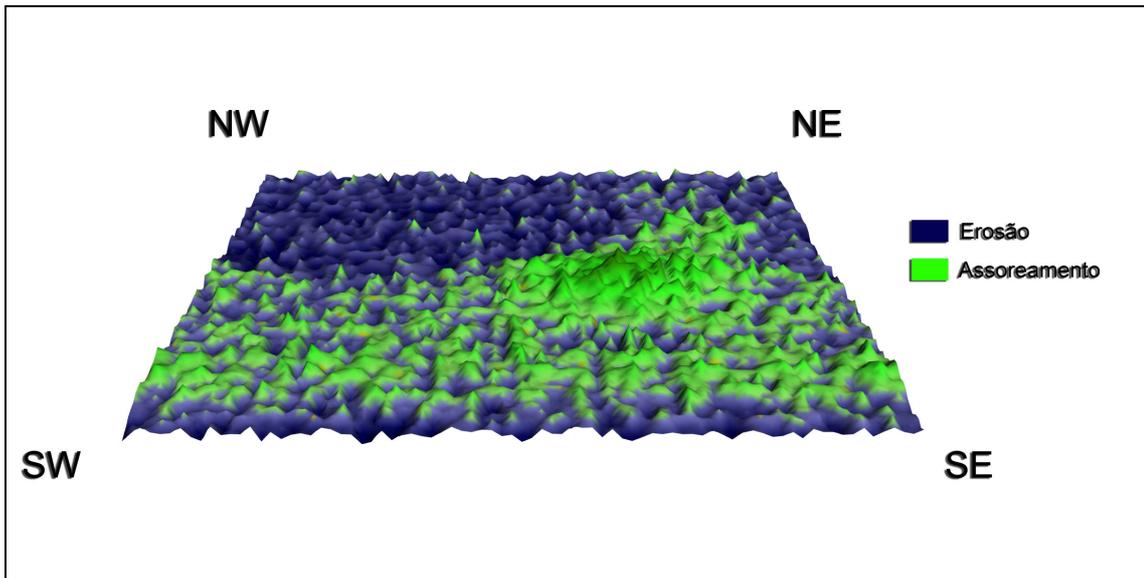


Figura 5.1.6-42 - Comparativo batimétrico – Pré-Dragagem x Pós-Dragagem (Distorção de 100x na vertical)

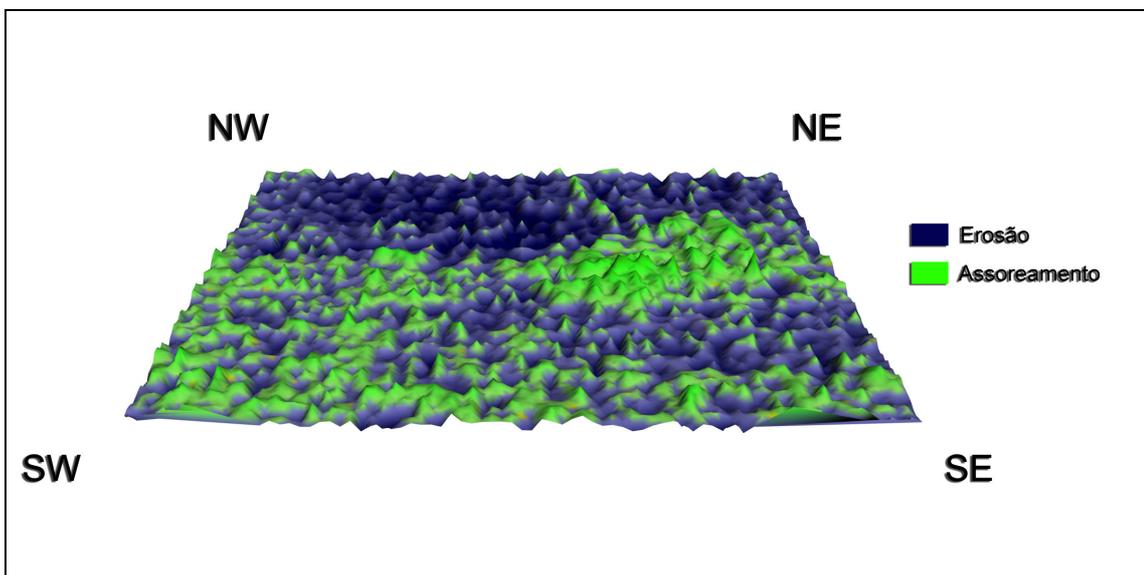


Figura 5.1.6-43 - Comparativo batimétrico – Pré-Dragagem x 6 meses após a Dragagem (Distorção de 100x na vertical)

A Tabela 5.1.6-9 apresenta um resumo de parâmetros de profundidade da Área de Descarte para as quatro batimetrias realizadas durante o ano 2007.

**Tabela 5.1.6-9 - Resumo de parâmetros de profundidade**

Batimetria	Profundidade máxima (DHN)	Profundidade mínima (DHN)	Profundidade média (DHN)
Pré-dragagem	6,79 m	3,11 m	4,985 m
Pós-dragagem	6,81 m	3,11 m	4,869 m
Três meses após término da dragagem	6,80 m	3,12 m	4,975 m
Seis meses após término da dragagem	6,73 m	3,38 m	5,043 m

#### 5.1.6.7 Análise da Cubagem

Calculou-se um assoreamento no interior da Área de Descarte, durante o período de dragagem, entre fevereiro e março de 2007, de 463.532 m<sup>3</sup>. O cálculo foi executado através da diferença das batimetrias de pré-dragagem e pós-dragagem. O assoreamento calculado corresponde a uma elevação média de 0,116 m na profundidade da Área de Descarte. A Figura 5.1.6-42 apresenta a visualização tridimensional da diferença entre as batimetrias. Os volumes medidos na cisterna das dragas durante a dragagem totalizaram 481.139 m<sup>3</sup> sendo 135.049 m<sup>3</sup> caracterizados como areia e 346.090 m<sup>3</sup> como lama.

Devido ao pouco tempo entre as batimetrias e pela pequena espessura de sedimento depositada, considera-se que a consolidação do material descartado no fundo submarino seja pouco significativa, de forma que para a comparação de volumes, pode-se comparar diretamente os volumes medidos em cisterna descartados com os volumes “*in situ*” calculados através das batimetrias. Assim, o volume quantificado de assoreamento, calculado através das batimetrias de pré-dragagem e pós-dragagem (481.139 m<sup>3</sup>), é compatível com o volume total despejado cubado em cisterna (463.532 m<sup>3</sup>). Analisando-se a condição batimétrica de pós-dragagem com a condição após seis meses do término da dragagem, observa-se que houve a continuidade da dispersão de material para fora da área de descarte, conforme também observado na batimetria de três meses após a dragagem.

A diferença de volume entre a batimetria pré-dragagem e a batimetria de seis meses após o término da dragagem de 2007 indicou uma erosão resultante de aproximadamente 230.000 m<sup>3</sup> para toda a Área de Descarte. Esta variação volumétrica indica que a área, além de ter sofrido a dispersão da maior parte do sedimento despejado na última dragagem, também sofreu uma leve erosão natural, que provavelmente está ligada ao restabelecimento natural das profundidades originais do quadrante NW, que no passado foi muito utilizado para o

despejo das dragagens e que sofreu assoreamento. Observe que a profundidade mínima aumentou na área do quadrante NW, passando de 3,11 m (pré-dragagem) para 3,38 m (6 meses após o término da dragagem).

#### **5.1.6.8 Análise da Morfologia de Fundo da Área de Descarte**

Quando se observa as batimetrias pré e pós-dragagem, nota-se uma distribuição espacial bem homogênea do sedimento descartado, não se observando nenhuma concentração significativa de despejo ou criação de alto-fundos. A análise dos desenhos e figuras apresentados neste relatório permite notar uma feição de alto-fundo no quadrante NW da área de descarte. Esta feição morfológica já podia ser observada desde 2003, e foi originada pelo descarte de sedimentos de dragagens anteriores a 2007. Pode-se observar que desde 2006 esta feição tem diminuído lentamente, pois os descartes estão sendo concentrados nas áreas NE e SE. Com a interrupção do despejo no quadrante NW, a feição identificada deverá desaparecer, pois a área buscará o equilíbrio morfodinâmico original. A observação comparativa entre as plantas 03 e 04 do anexo R, assim como entre a Figura 5.1.6-38 e a Figura 5.1.6-39, mostra claramente o avanço para o mar da isóbata de -5,0 m no quadrante NE, confirmando a localização do despejo de material dragado, que foi realizado nos quadrantes SE e NE. Analisando-se as Figura 5.1.6-42 e Figura 5.1.6-43 nota-se os locais em que os descartes têm sido realizados, regiões onde se observa o maior assoreamento. A Figura 5.1.6-40 e a Figura 5.1.6-41 em conjunto com as plantas 5 e 6 do anexo R indicam claramente a gradativa dispersão do material dragado despejado. No quadrante NW pode-se observar um leve aprofundamento do fundo de origem natural.

#### **5.1.6.9 Evolução da Área de Descarte**

Pode-se concluir, a partir das batimetrias que na última dragagem realizada (fevereiro e março de 2007) houve uma distribuição espacial bem homogênea do sedimento descartado, não se observando nenhuma concentração significativa de despejo ou criação de alto-fundos e que os volumes da cubagem de cisterna são compatíveis com os calculados a partir das batimetrias levantadas. As cubagens e análises morfológicas realizadas a partir das batimetrias de pré-dragagem, pós-dragagem, de três meses após o término da dragagem e de seis meses após o término da dragagem indicam que a maior parte do material dragado durante a operação de dragagem, realizada entre fevereiro e março de 2007, já se dispersou do local. Embora os cálculos volumétricos indiquem que todo o sedimento descartado já tenha sido dispersado, as variações morfológicas observadas logo após o término da dragagem ainda persistem parcialmente. É importante salientar que tais alterações batimétricas são muito sutis, tanto que para a observação das conformações de fundo, a escala vertical teve de ser exagerada em 100 vezes nas figuras tridimensionais apresentadas.

A condição de profundidade da Área de Descarte seis meses após o término da dragagem está melhor que antes do início da última operação de dragagem (batimetria pré-dragagem). Tais resultados indicam que além da dispersão dos sedimentos despejados na última operação, está provavelmente ocorrendo um restabelecimento das condições de profundidades naturais do quadrante NW, muito utilizado no passado.

Pode-se também verificar que o descarte de material dragado na Área de Descarte não tem prejudicado a navegação, pois a variação morfológica e de profundidades apresentada no comparativo das batimetrias após a campanha de dragagem de 2007 foi muito baixa, sendo que na batimetria mais recente, tem-se que a profundidade média da Área de Descarte até mesmo aumentou.

A sobrelevação percentualmente muito pequena do trecho da área de descarte, não gera declividades ou altera qualquer característica do fundo significativamente. Assim, nenhuma alteração hidrodinâmica ou sedimentológica ocorre nesta área ou no entorno devido ao descarte, o que também é afirmado pelas modelações numéricas realizadas por DHI, (2002).

Recomenda-se em futuras dragagens a continuação da utilização dos quadrantes NE e SE, que possuem maior profundidade e não têm apresentado alterações de morfologia de fundo significativas após o descarte das duas últimas operações de dragagem.

#### **5.1.6.10 Estimativa da taxa de assoreamento e periodicidade da necessidade de dragagem de manutenção**

##### *5.1.6.10.1 Considerações Gerais*

Uma vez que os volumes iniciais de dragagem de manutenção previstos pelo DHI no Estudo de Impacto Ambiental (CEPEMAR, 2001) não se confirmaram, a ARCEL encomendou novos estudos aos DHI e também contratou a empresa CPE - Coastal Planning and Engineering da Flórida, EUA, para a realização de um estudo de 2ª Opinião.

A empresa CPE concluiu que a discrepância entre os volumes estimados pelo DHI e os observados nas obras de dragagem ocorreu por uma série de razões, como por exemplo, o fato de não haver se conseguido a implantação definitiva do canal até a execução deste estudo, entre outras (veja discussão no item 3.1.3.4.6).

Atualmente, dispõe-se das estimativas de volume de dragagem de manutenção do DHI e da empresa CPE, que realizaram estudos fundamentados na modelação numérica e análises dos assoreamentos reais observados. Os cálculos foram realizados separadamente por

cada instituição, na busca pela quantificação mais precisa possível dos volumes de dragagem de manutenção.

#### 5.1.6.10.2 *Considerações Relativas à Modelação Numérica*

Nos últimos anos, a modelação numérica tem surgido como uma ferramenta ágil e precisa para a resolução de muitos problemas de Hidráulica Marítima, Costeira e Ambiental. Atualmente é considerada como uma ferramenta essencial em estudos de projetos marítimos. As principais vantagens da modelação numérica são as facilidades de alteração de arranjos gerais nos projetos de forma a simular diversos cenários com rapidez, como também a capacidade de fornecer a variação dos parâmetros hidráulicos, sedimentológicos, morfológicos e ambientais no tempo, e em áreas de grande extensão.

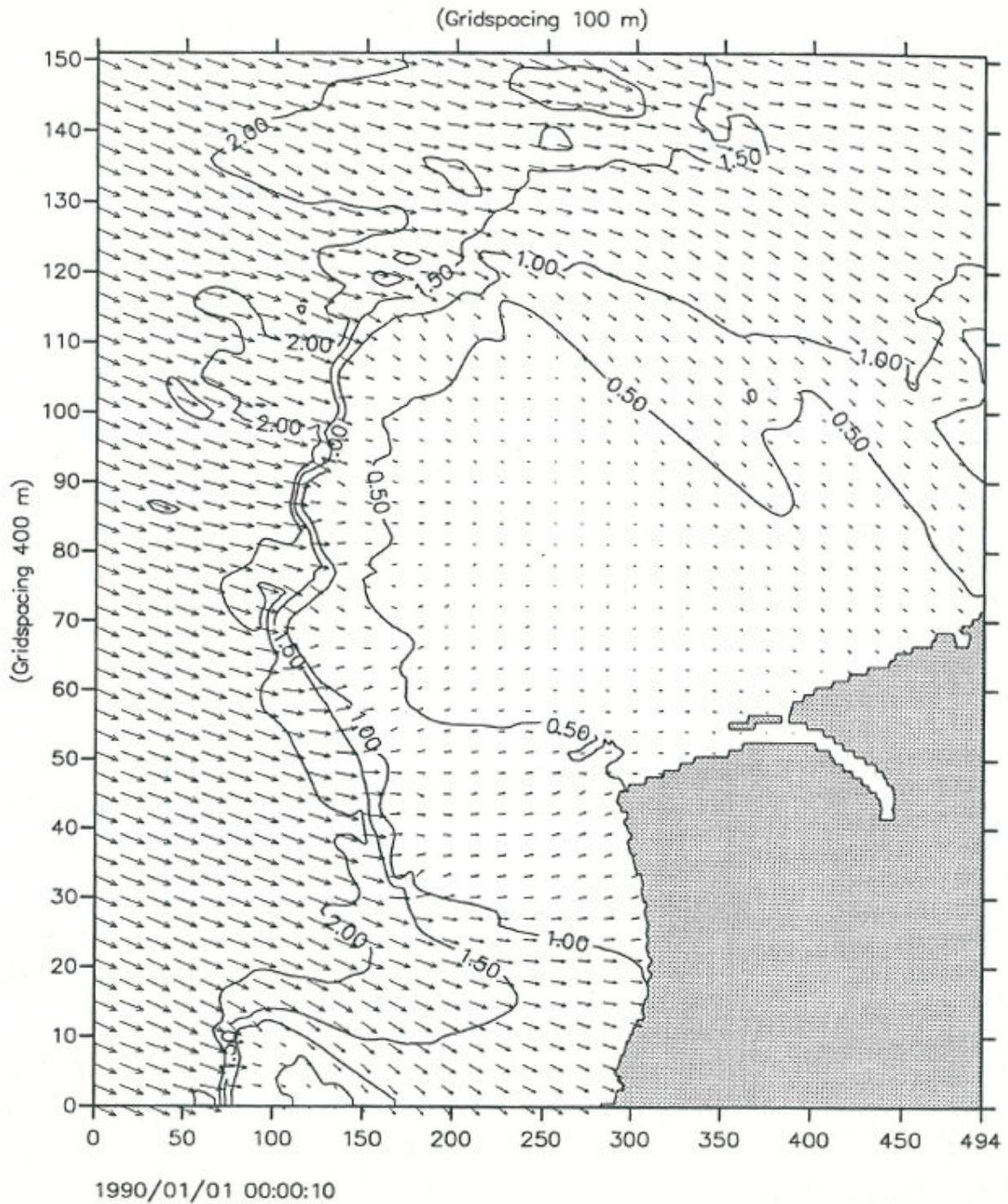
A modelação numérica utiliza-se de equações e leis teóricas, como também de equações empíricas quando descreve os parâmetros de interesse, e faz uso normalmente de hipóteses e simplificações. Isto resulta na existência de diversos modelos numéricos dependendo das hipóteses e simplificações usadas em cada um. Assim, para que seja alcançado o sucesso nas modelações numéricas, é importante o conhecimento completo da matemática envolvida, como também uma experiência prática para que os resultados possam ser validados com prudência.

Desde a sua concepção, o projeto do canal de acesso tem contado com o suporte do Danish Hydraulic Institute – DHI. O DHI é reconhecidamente um dos melhores laboratórios de hidráulica marítima da atualidade. Seus programas de modelação numérica estão sempre em um contínuo processo de desenvolvimento, buscando atingir cada vez mais a excelência na reprodução dos fenômenos naturais matematicamente. O laboratório conta com uma vasta experiência em obras e estudos em várias localidades do mundo.

#### 5.1.6.10.3 *Histórico dos Principais Estudos de Modelação Numérica Realizados*

##### Norsul Terminal, Caravelas, Brazil, Preliminary Assessment Numerical Wave Modelling, Phase 1 – Junho de 1998

Neste estudo, realizado pelo DHI, foram executadas avaliações preliminares das características e propagações das ondas na região de Caravelas com dados do Global Wave Statistics, um Atlas de ondas de baixa resolução espacial, que engloba todos os oceanos.. A Figura 5.1.6-44 apresenta um dos resultados de propagação de uma onda de rumo Leste para a região de Caravelas. Note o grande abrigo propiciado pelos arcos interno e externo do banco de Abrolhos. Este estudo completo encontra-se no Anexo S.



**Figura 5.1.6-44 - Propagação de ondas de Leste em direção à região de Caravelas – as isolinhas indicam a magnitude da altura significativa**

Hydraulics Investigations for Port Facilities at Caravelas, Brazil – Phase 2 – Junho de 2000  
– DHI

Este estudo foi realizado pelo DHI e apresentou os seguintes resultados:

- Estimativa da taxa de dragagem anual para 3 alternativas de leiaute do canal de navegação;
- Avaliação da estabilidade da embocadura natural e com o canal dragado;
- Avaliação de problemas de erosão em relação à cidade de Caravelas, oriundos do terminal e ao canal de navegação proposto;
- Otimização do alinhamento do terminal de barcaças na margem do Rio Caravelas.

O estudo recomendou o leiaute atualmente em uso para o canal de acesso, estimando em 65.000 m<sup>3</sup> a taxa anual de assoreamento do canal. Isto é, após a conclusão da dragagem de implantação completa do canal na forma de seu gabarito de projeto (a implantação completa somente ocorreu recentemente), dever-se-ia esperar uma dragagem de 65.000 m<sup>3</sup> por ano para a manutenção do mesmo.

A Figura 5.1.6-45 apresenta o leiaute de canal recomendado, e os volumes de dragagem de manutenção anuais para os trechos do canal. Note que a soma dos trechos chega aos 65.000 m<sup>3</sup> citados anteriormente.

O estudo também conclui que as modificações geométricas do fundo devido à dragagem de implantação do canal alteram as condições hidrodinâmicas e sedimentológicas muito localizadamente, não impactando as linhas de costa e processos litorâneos da região. As Figura 5.1.6-46 a Figura 5.1.6-51 apresentam as modelações nas condições originais e após a implantação do canal, onde pode-se observar que as alterações hidrodinâmicas e sedimentológicas são bem restritas espacialmente.

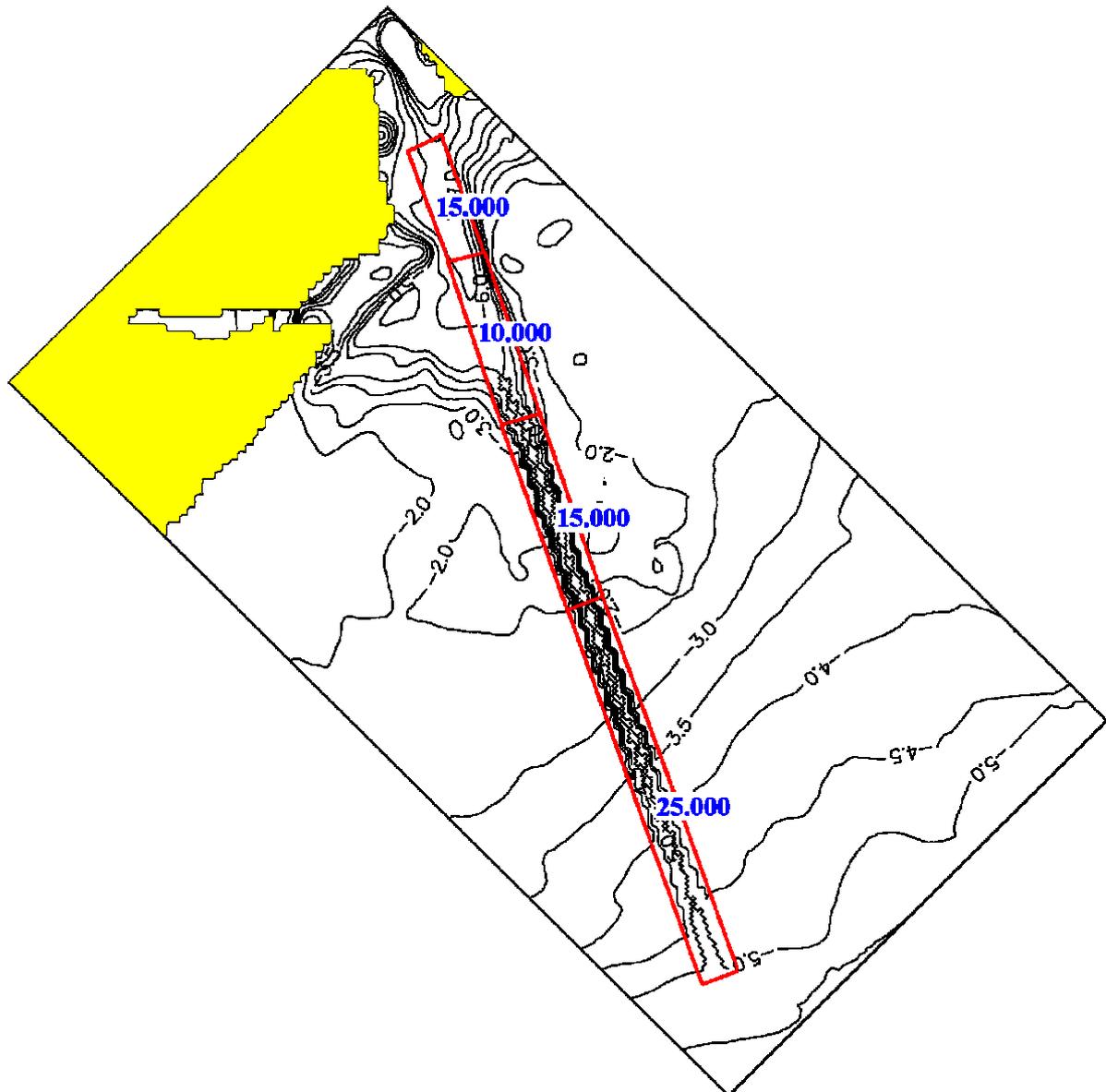


Figura 5.1.6-45 - Assoreamento anual estimado em m<sup>3</sup>/ano para o leiaute recomendado

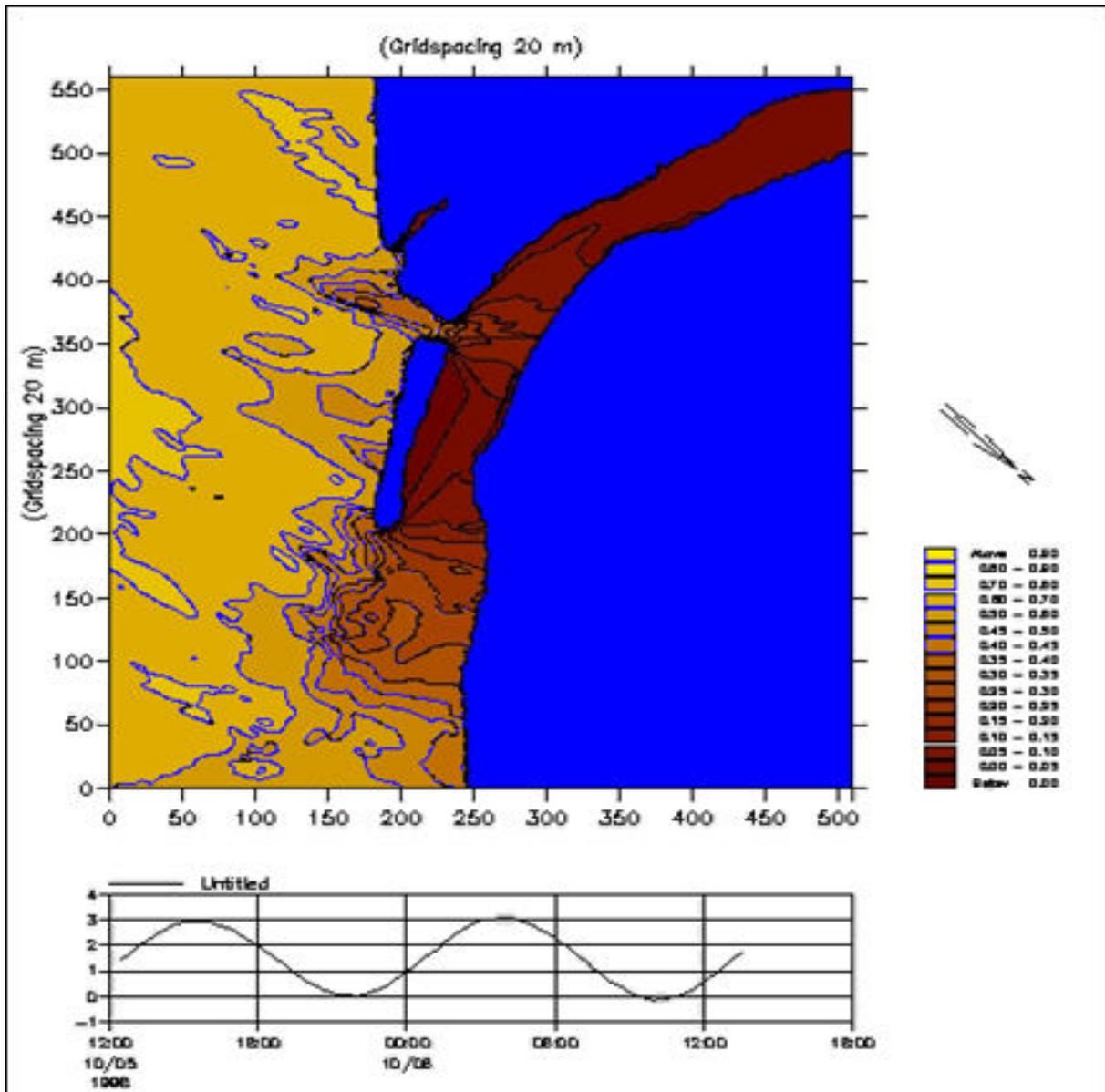


Figura 5.1.6-46 - Propagação de ondas para a condição original

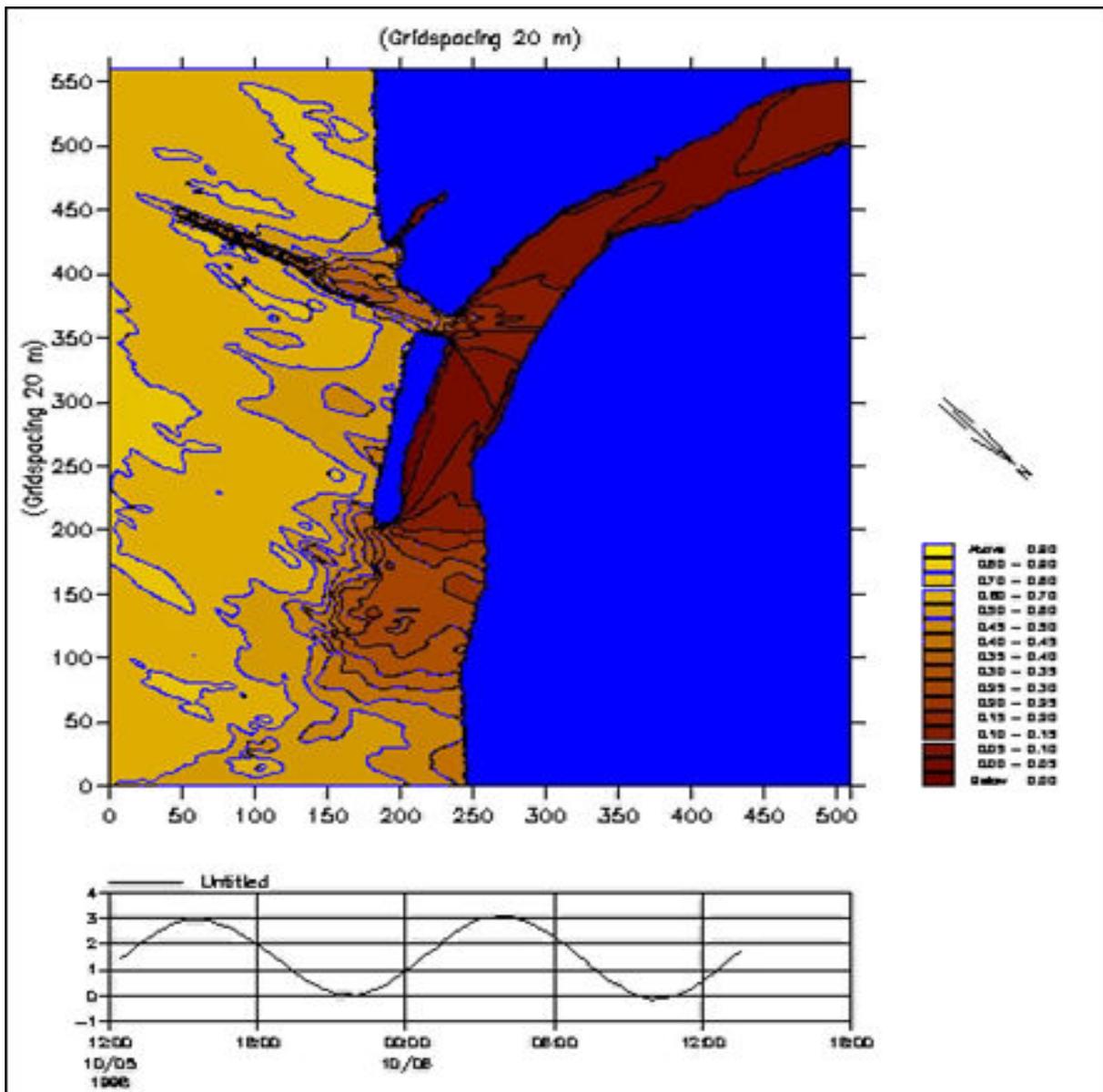


Figura 5.1.6-47 - Propagação de ondas para o leiaute 3

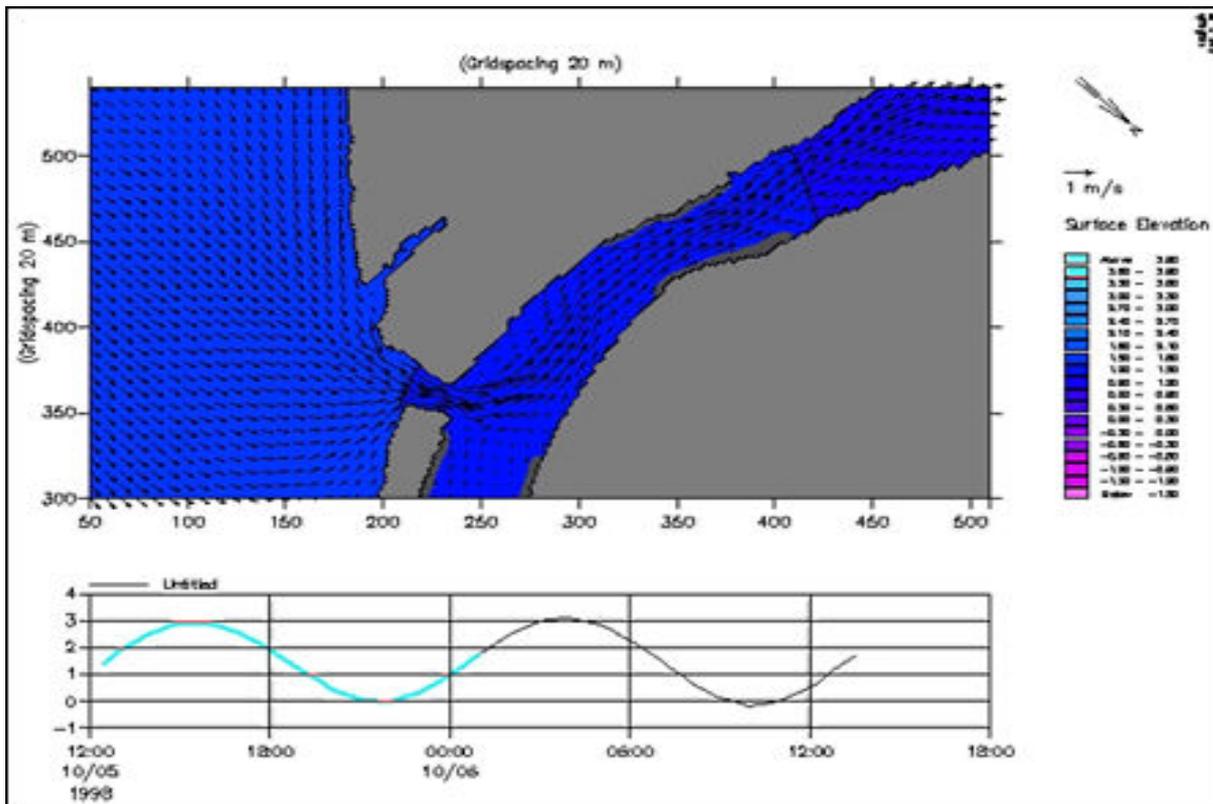


Figura 5.1.6-48 - Circulação de correntes para a condição original

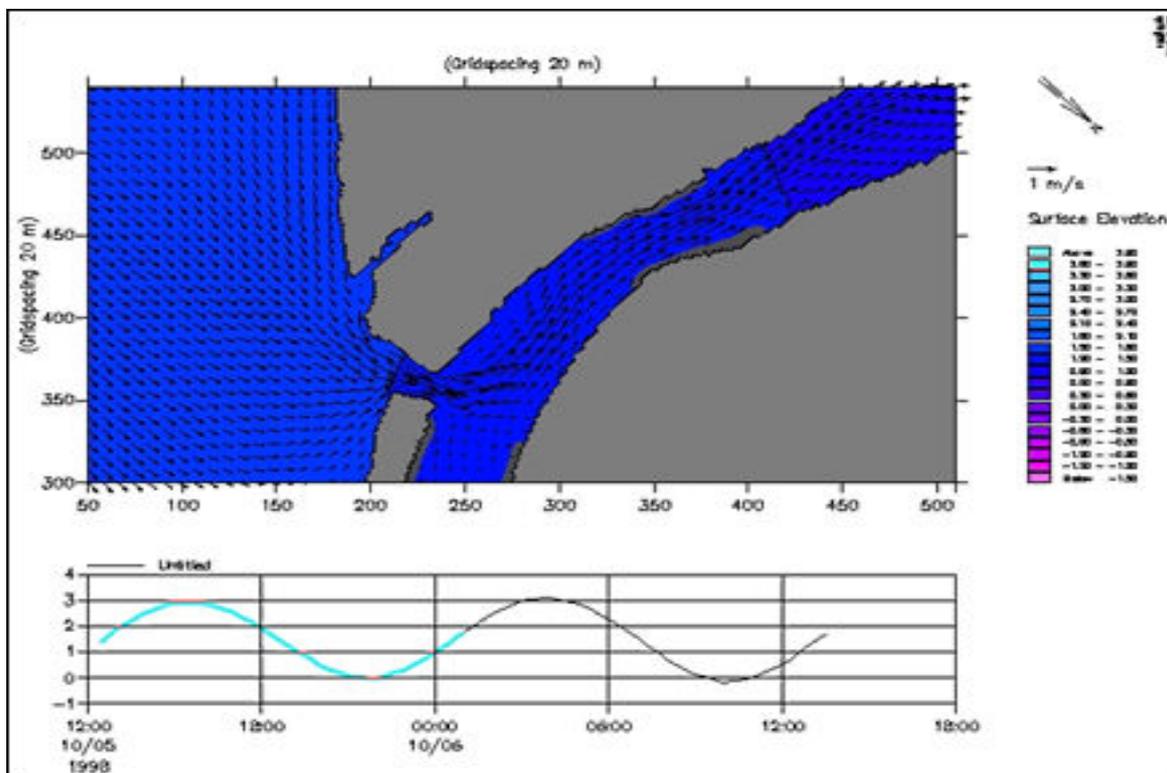
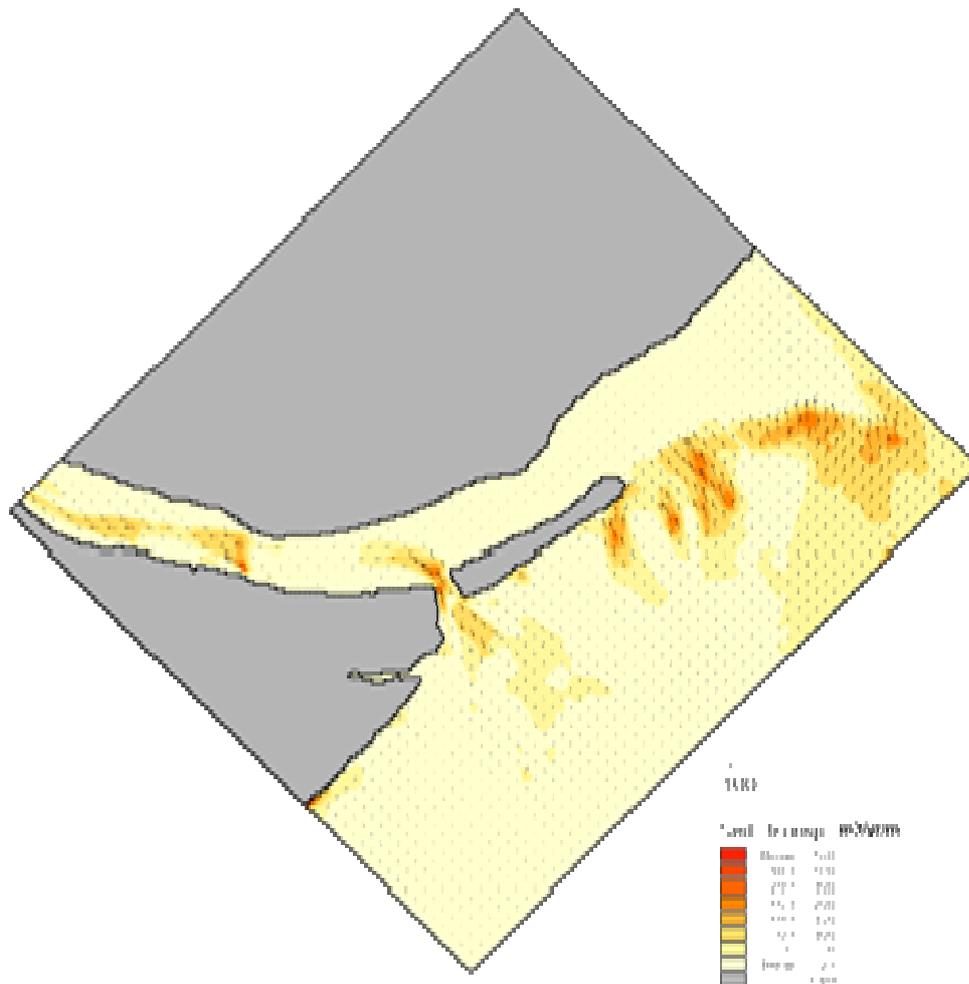


Figura 5.1.6-49 - Circulação de correntes para o leiaute 3





**Figura 5.1.6-51 Capacidade de transporte anual - Leiaute 3**

Este estudo encontra-se no Anexo S.

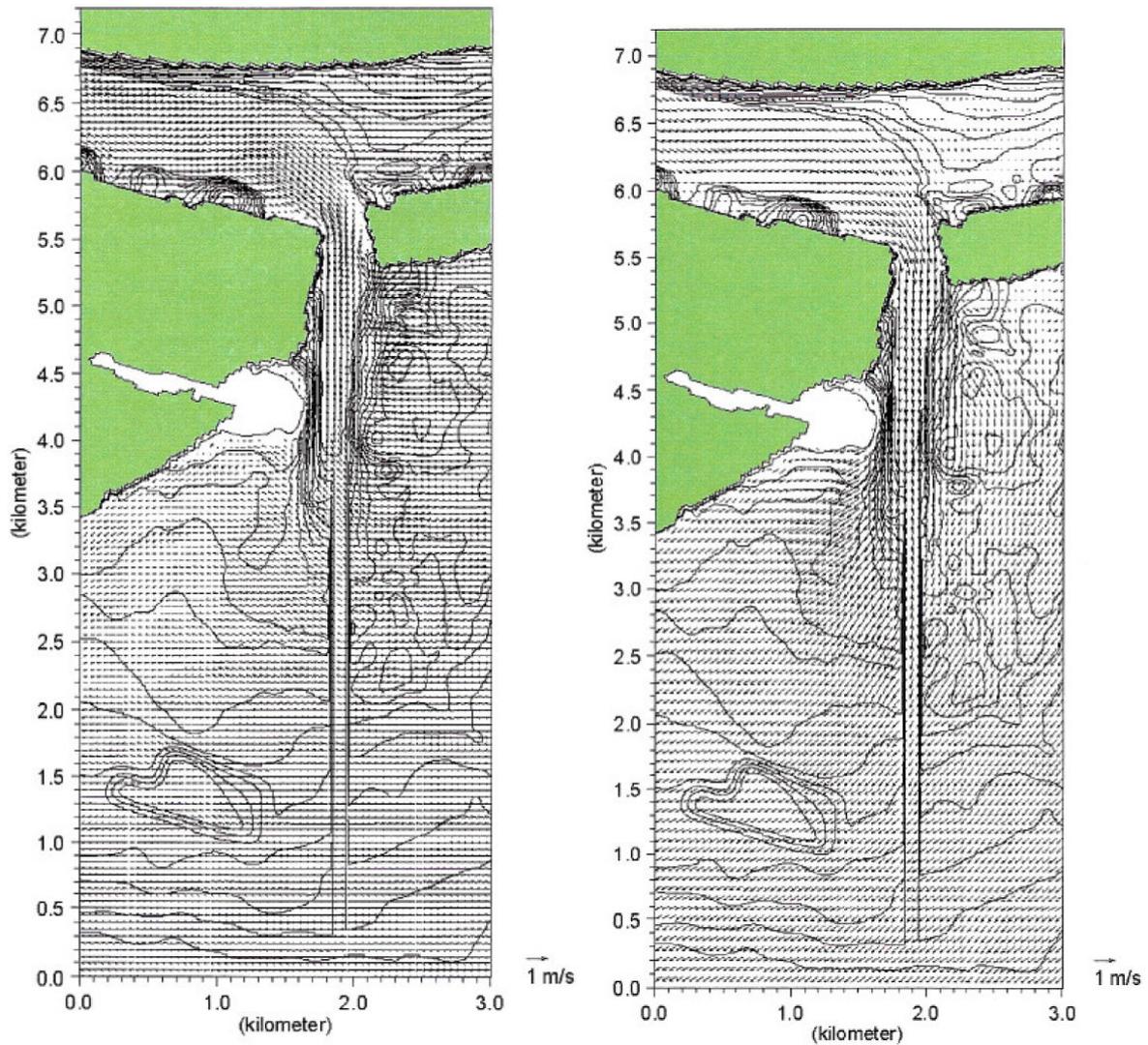
Caravelas Project – Additional Hydraulic Studies – Fevereiro de 2004 - DHI

Este trabalho, realizado pelo DHI, apresentou os seguintes estudos:

- Modelação das correntes transversais ao canal de navegação induzidas pelo vento ao longo do canal de acesso;
- Modelação e otimização de armadilhas de sedimentos ao longo do canal de acesso;
- Revisão das correntes no terminal de barcaças no Rio Caravelas.

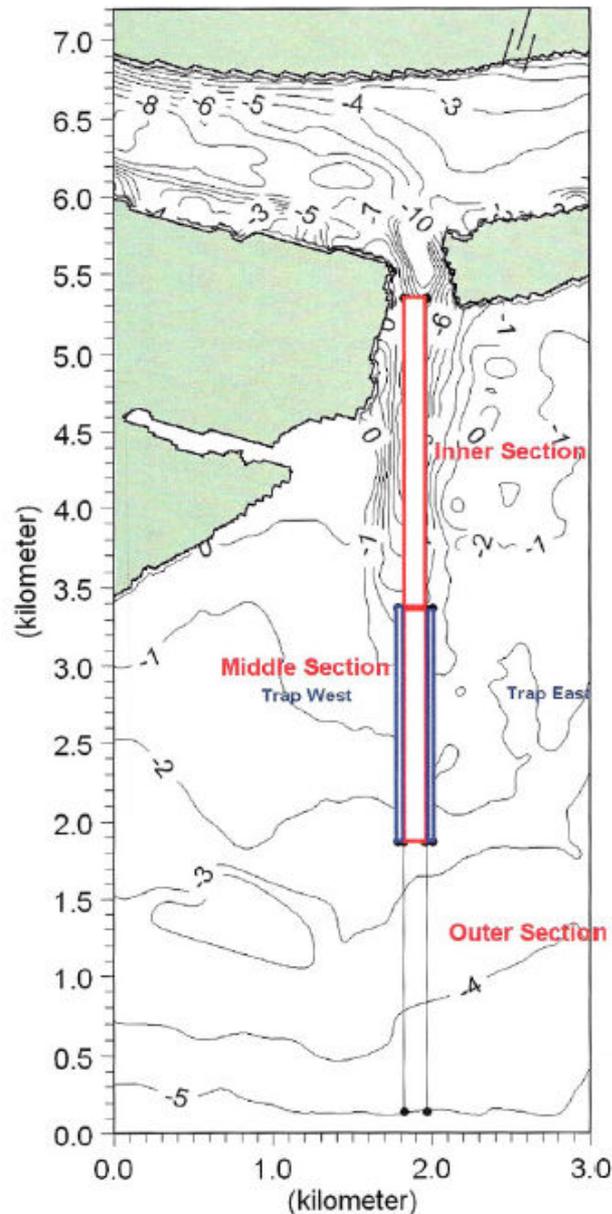
Neste estudo o modelo numérico foi refinado para uma grade de resolução de 5 x 5 m a partir de uma batimetria mais atualizada e recalibrado com uma nova base de dados que

incluiu dados de ventos mais recentes e dados de uma campanha de trajetória de derivadores. A Figura 5.1.6-52 apresenta o padrão de escoamento na vazante e na enchente, respectivamente.



**Figura 5.1.6-52 - Dois exemplos do padrão de circulação na vazante e na enchente, respectivamente. Ondas de altura significativa de 1,5 m de direção Leste, combinadas com ventos de 10 m/s de nordeste**

Relativamente à dragagem, foi proposta a execução de duas armadilhas de sedimentos paralelas ao canal em seu trecho central (Figura 5.1.6-53), de forma a captar o sedimento antes que o mesmo pudesse assorear o fundo do mesmo e prejudicar a navegação. O estudo conclui que a adoção das armadilhas pode melhorar a condição de assoreamento no interior no canal mantendo o canal livre por mais tempo, entretanto acarreta um aumento no volume de dragagem de manutenção anual.



**Figura 5.1.6-53 - Trecho central do Canal do Tomba considerado (armadilhas em azul)**

A partir da análise das batimetria consecutivas de 31/07/2003 a 18/12/2003 de um período em que não houve dragagem, o estudo indicou que na condição do canal sem as

armadilhas de sedimento, pode-se estimar um assoreamento de 130.000 m<sup>3</sup> por ano em seu trecho central, sendo que deste total 30.000 m<sup>3</sup> seriam areia e o restante, 100.000 m<sup>3</sup> sedimento lamosos. O trecho central do canal considerado é apresentado na Figura 5.1.6-53 e tem 1500 m de comprimento.

Este estudo encontra-se no Anexo S.

#### Second Opinion on the Caravelas Channel Dredging Maintenance Assessment – Dezembro de 2004

Conforme comentado, na prática os volumes dragados superavam em muito os estimados nos estudos anteriores realizados pelo DHI e tendo em vista este cenário, a ARCEL contratou um estudo de 2ª Opinião, realizado pelo Coastal Planning Engineering da Flórida, EUA.

Segundo CPE (2004), à medida que a desembocadura amadurece, o volume de sedimento que chega das praias adjacentes diminui por conta de que suas linhas de costa desenvolvem uma condição de maior estabilidade.

Usualmente a dragagem de um canal de navegação interrompe a passagem natural dos sedimentos arenosos reduzindo o suprimento de areia para as praias adjacentes. Isto é particularmente importante quando o transporte ocorre essencialmente em um único sentido e as praias de sotamar passam a sofrer com déficit de sedimentos e conseqüentemente passam por um processo erosivo. No caso específico da Boca do Tomba, esta interrupção, que poderia ocasionar problemas erosivos nas praias da Ilha Pontal do Sul, como será visto adiante, não é significativa, pois na ilha ocorre uma inversão da deriva. Ainda, observações das praias adjacentes indicam que a suprimento de areia principalmente a barlamar já se apresentava limitado antes da implantação do canal.

De fato, desde que houve a abertura do canal do Tomba no início da década de 1960, o suprimento de sedimentos para NE foi interrompido, sendo fonte para a formação do delta de maré vazante, que pelos cálculos apresentados anteriormente (veja item 5.1.5) ainda está em processo de crescimento. O estudo desenvolvido pela CPE indica que imediatamente a NE da embocadura há um ponto de reversão do transporte de sedimentos, de forma que tanto no passado como atualmente, os sedimentos provenientes das praias da Ilha do Cassurubá mantém sua função de fonte de suprimento para o crescimento do delta de maré vazante, não servindo de fonte de sedimentos significativa para o transporte que ocorre na Ilha Pontal do Sul.

A agitação ondulatória próxima da Boca do Tomba é governada pelo clima de ondas ao largo, sofrendo os efeitos da orientação SW-NE da linha de costa, do delta de maré vazante da Boca do Tomba, e do delta remanescente da antiga barra de Caravelas.

As ondas típicas ao largo da Boca do Tomba (região das estações #106 e #506) apresentam altura significativa de aproximadamente 0,50 m, propagando-se de S-SW, resultando em um transporte longitudinal resultante para NE. Padrões de ondas divergentes resultam em um ponto nodal (reversão do sentido do transporte de sedimentos) a aproximadamente 500 m NE da desembocadura. Entre este ponto nodal e a desembocadura, a resultante de transporte de sedimentos tem direção SW, aumentando o montante de sedimentos trazidos para dentro do canal.

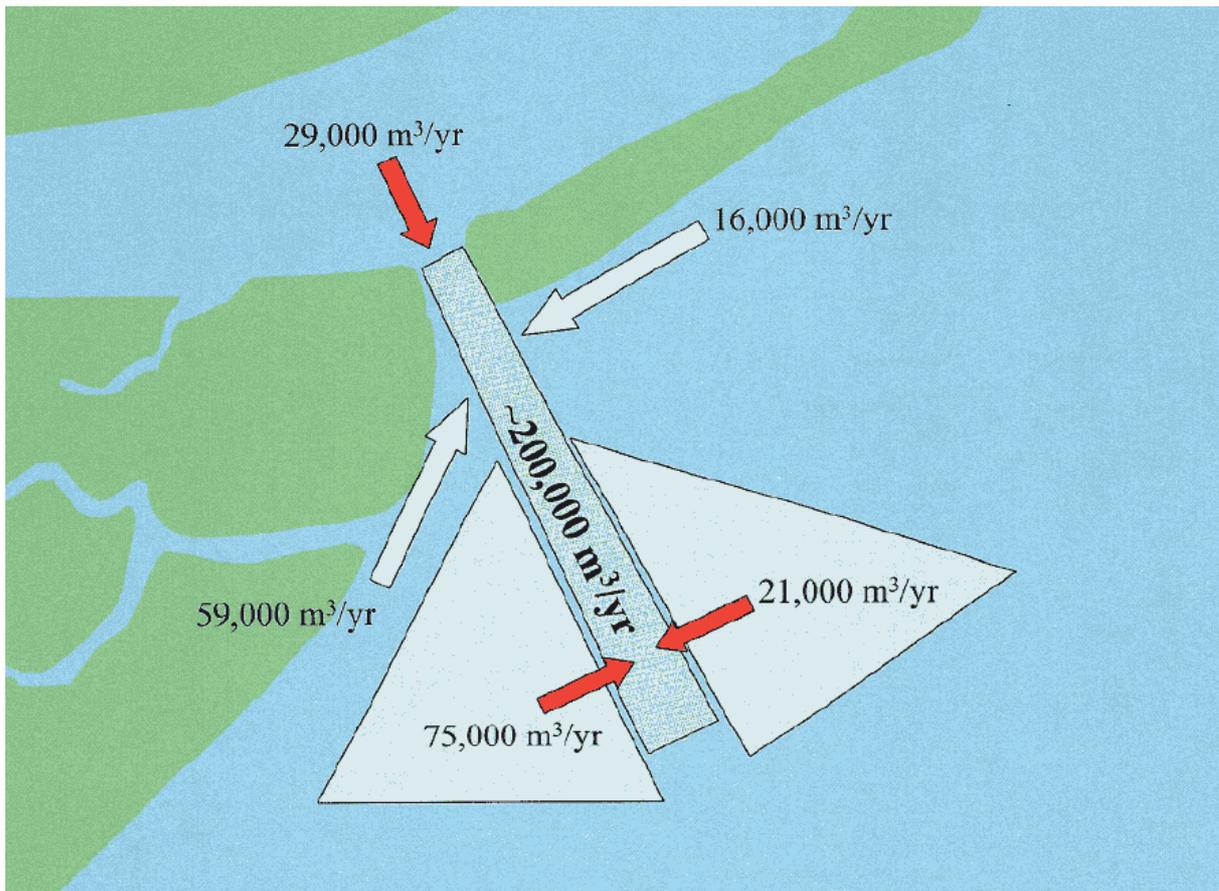
O resultado líquido de sedimentos adentrando na desembocadura foi estimado em 59.000 m<sup>3</sup> das praias do SW e de 16.000 m<sup>3</sup>/ano a partir das praias de NE, resultando em uma contribuição conjunta de sedimentos das praias adjacentes de 75.000 m<sup>3</sup>/ano.

Entretanto, a análise evolutiva dos fundos, obtidas através de várias sondagens batimétricas recentes do canal, indica que a taxa de assoreamento real do canal deve situar-se em aproximadamente 200.000 m<sup>3</sup>/ano.

O balanço de sedimentos histórico indica que aproximadamente 29.000 m<sup>3</sup>/ano são dispostos no canal pela erosão de bancos interiores do rio e do aporte de suprimentos fluvial. Assim, tem-se que o transporte de sedimentos para dentro do canal considerando-se o transporte litorâneo e a carga fluvial é de 104.000 m<sup>3</sup>/ano, o que é aproximadamente metade da taxa observada pela análise das batimetrias. A análise da evolução da cava do canal indica migrações de sul e norte para o canal dragado e a ocorrência de transporte de areias do delta de maré vazante para o canal. A observação de linhas de arrebenção ao longo dos limites dos bancos próximos ao canal dragado indica este transporte de sedimentos do delta para o canal. Adicionalmente, a própria dragagem pode ocasionar a instabilização de taludes que podem desbarrancar para dentro do canal, e o próprio retorno do material dragado da área de descarte para o canal pode aumentar a taxa de assoreamento do mesmo.

Estas observações sugerem que as elevadas taxas de sedimentação observadas *in loco* no canal são resultantes da redistribuição dos sedimentos das áreas do delta de maré vazante próximas ao canal dragado. Assim, como as batimetrias indicam um assoreamento de 200.000 m<sup>3</sup>/ano, e os cálculos indicam apenas 104.000 m<sup>3</sup>/ano, conclui-se que o remanescente de 96.000 m<sup>3</sup>/ano de sedimentação no interior do canal são atribuídos ao transporte que ocorre a partir do delta de maré vazante para o interior do canal.

A contribuição deste total de assoreamento remanescente foi dividida entre as barras norte e sul dentro do delta e ponderadas pelo transporte litorâneo longitudinal causado pelas ondas e que ocorre para dentro do canal (79% para o sul e 21 % para o norte). A Figura 5.1.6-54 apresenta o balanço sedimento considerado válido atualmente.



**Figura 5.1.6-54 - Balanço sedimentar atual**

Assim, os trabalhos executados, que contemplaram a modelação numérica da área e determinação de uma estimativa de volume de manutenção do canal por dragagem, concluem que o volume de dragagem de manutenção anual pode ser estimado em  $200.000 \pm 50.000 \text{ m}^3$ .

Este estudo encontra-se em conjunto com os demais no Anexo S.

DHI, 2006 – Channel Maintenance Programme: Numerical Modelling of Sedimentation Processes.

Neste trabalho o DHI procedeu a uma modelação numérica totalmente nova para o estudo de caso do canal de acesso em Caravelas. Foi utilizada uma batimetria atualizada e o esquema numérico antes realizado em grades de espaçamento regulares foi substituído pela moderna grade de malha flexível.

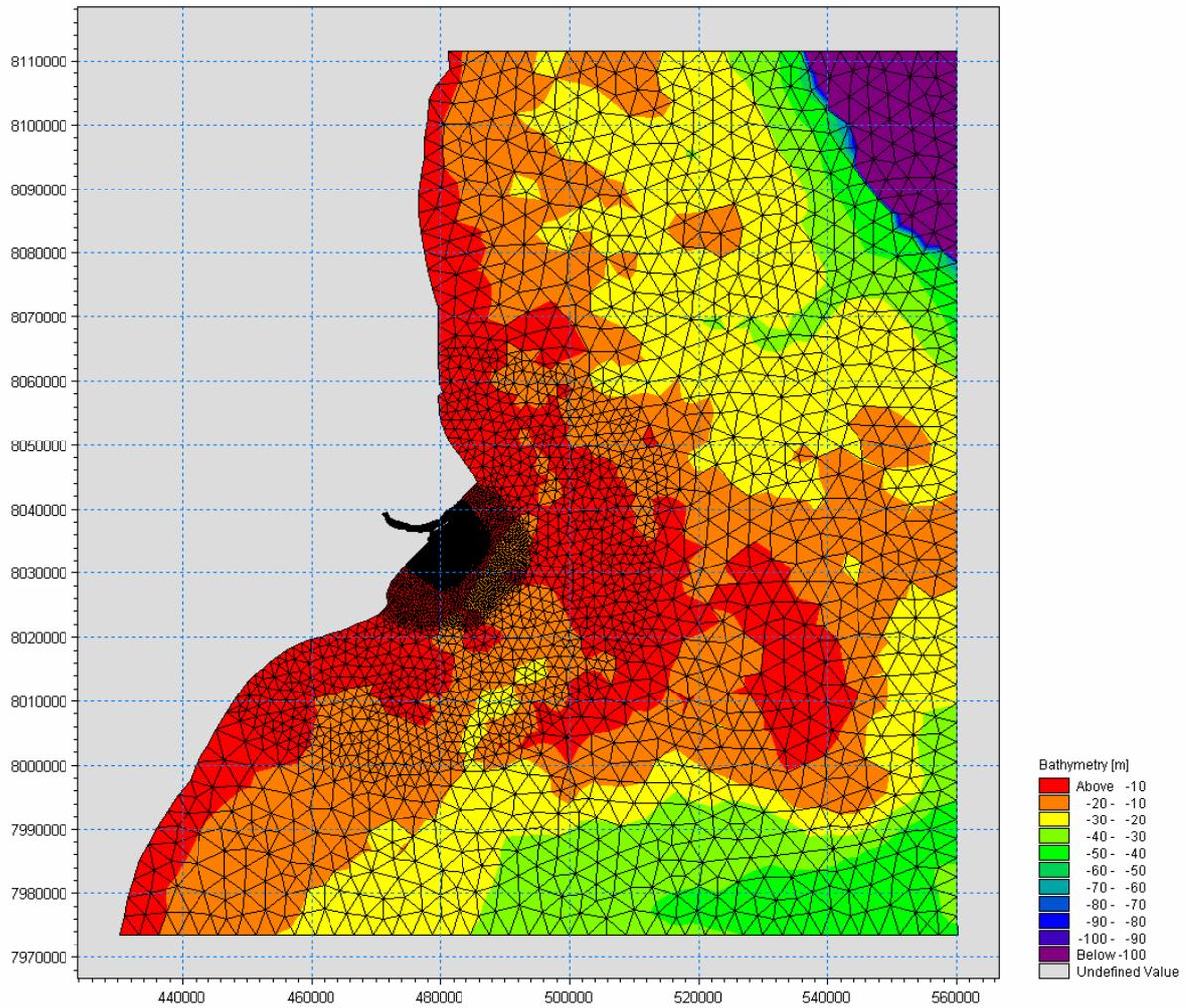
Os cálculos hidrodinâmicos de correntes e ondas foram refeitos. O principal objetivo foi de descrever a deposição de areia e lama no canal de forma independente.

Além de novamente estimar as taxas de assoreamento, cinco alternativas foram modeladas buscando a redução da sedimentação no canal e são apresentadas abaixo:

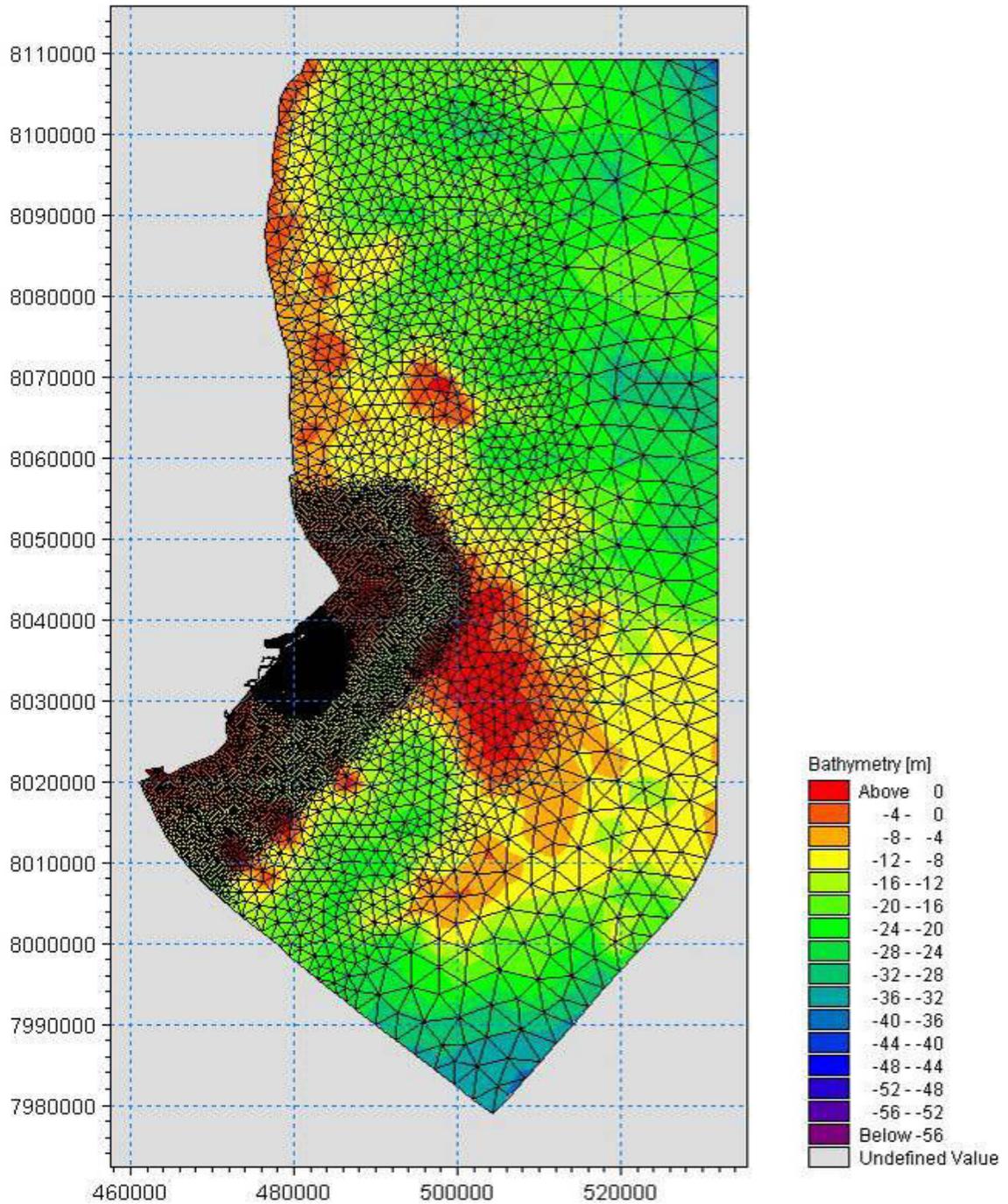
- (1) Canal existente é dragado até 5,5 m DHN;
- (2) Canal é re-alinhado usando a alternativa do canal secundário;
- (3) O canal secundário é parcialmente bloqueado;
- (4) Uma depressão de 1,0 metro é dragada no trecho central do canal;
- (5) É realizada uma dragagem de sobrelargura no trecho central do canal.

A partir de dados atualizados de batimetria e da extensa base de dados de onda e correntes das estações #106 e #506, DHI 3 modela e calibra a hidrodinâmica e sedimentologia da região. A Figura 5.1.6-55 apresenta a grade computacional flexível da batimetria utilizada nos cálculos para a hidrodinâmica de ondas. Foi utilizado um modelo de onda totalmente espectral – MIKE 21 SW capaz de simular tanto as ondas locais geradas pelo vento, as vagas, com o também as ondulações de geração remota.

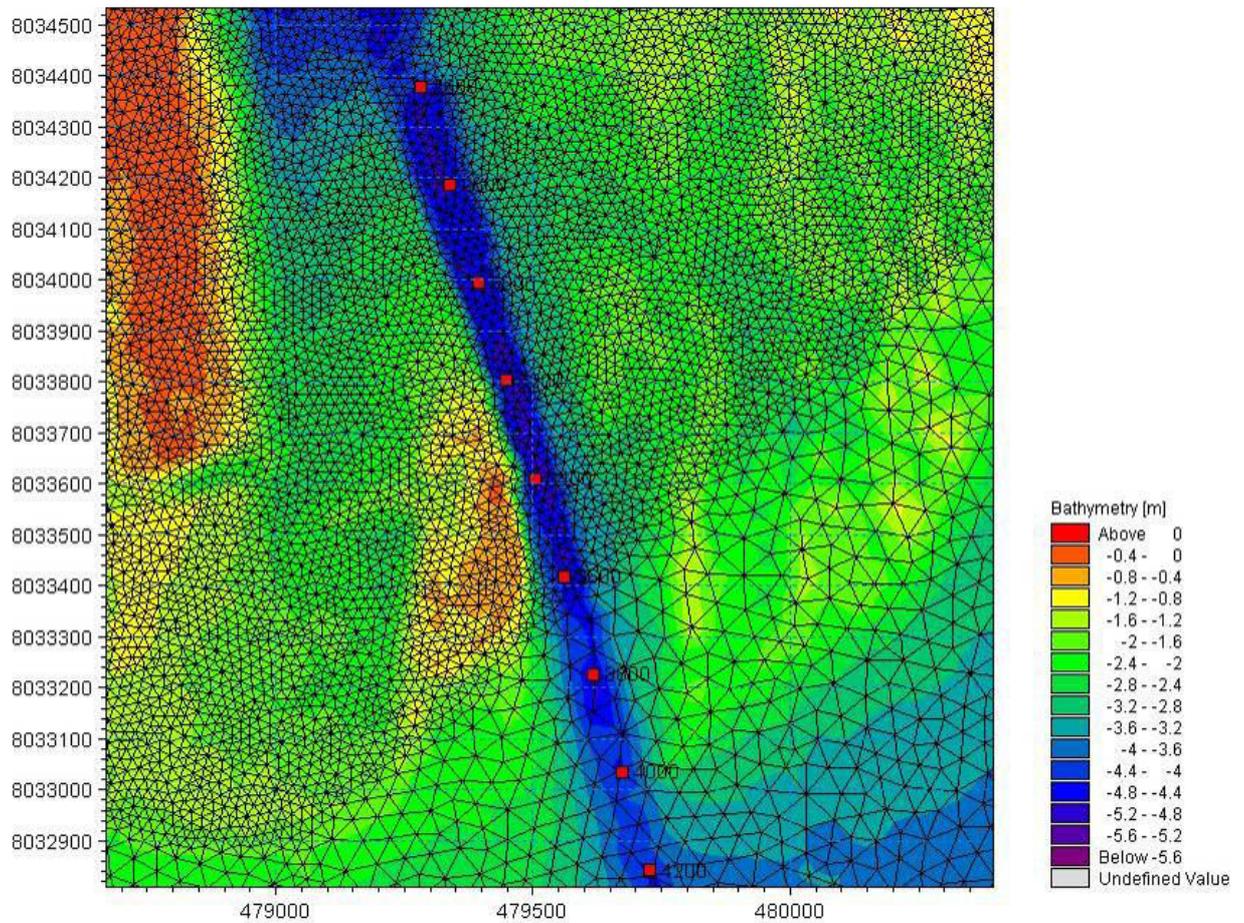
A Figura 5.1.6-56 e a Figura 5.1.6-57 apresentam as grades computacionais utilizadas para as modelações de correntes e transporte de sedimentos, tanto de lamas como de areias. Para tanto, foram empregados os modelos MIKE 21 FM HD (Hidrodinâmica) e MIKE 21 ST (transporte de areias) e MIKE 21 MD (transporte de lamas).



**Figura 5.1.6-55 - Grade batimétrica aplicada para a modelação de ondas**

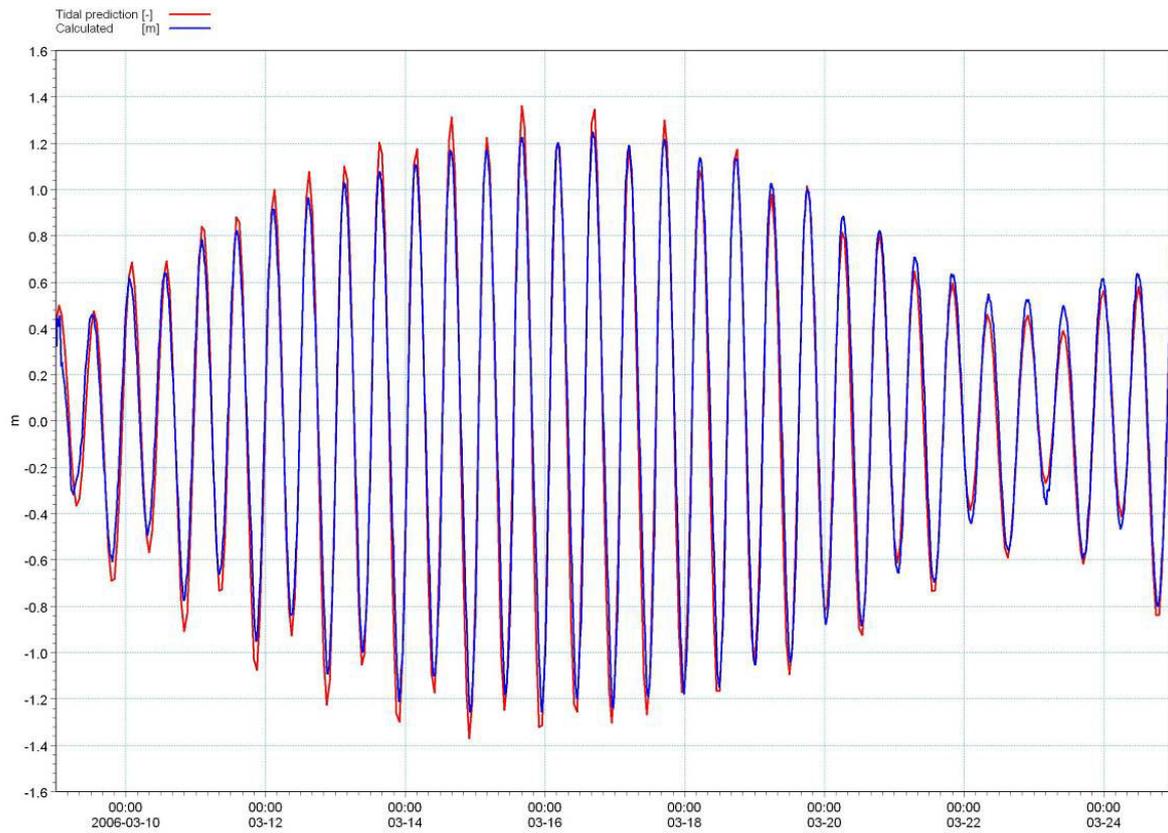


**Figura 5.1.6-56 - Grade batimétrica aplicada para a modelação hidrodinâmica e de transporte de sedimentos**

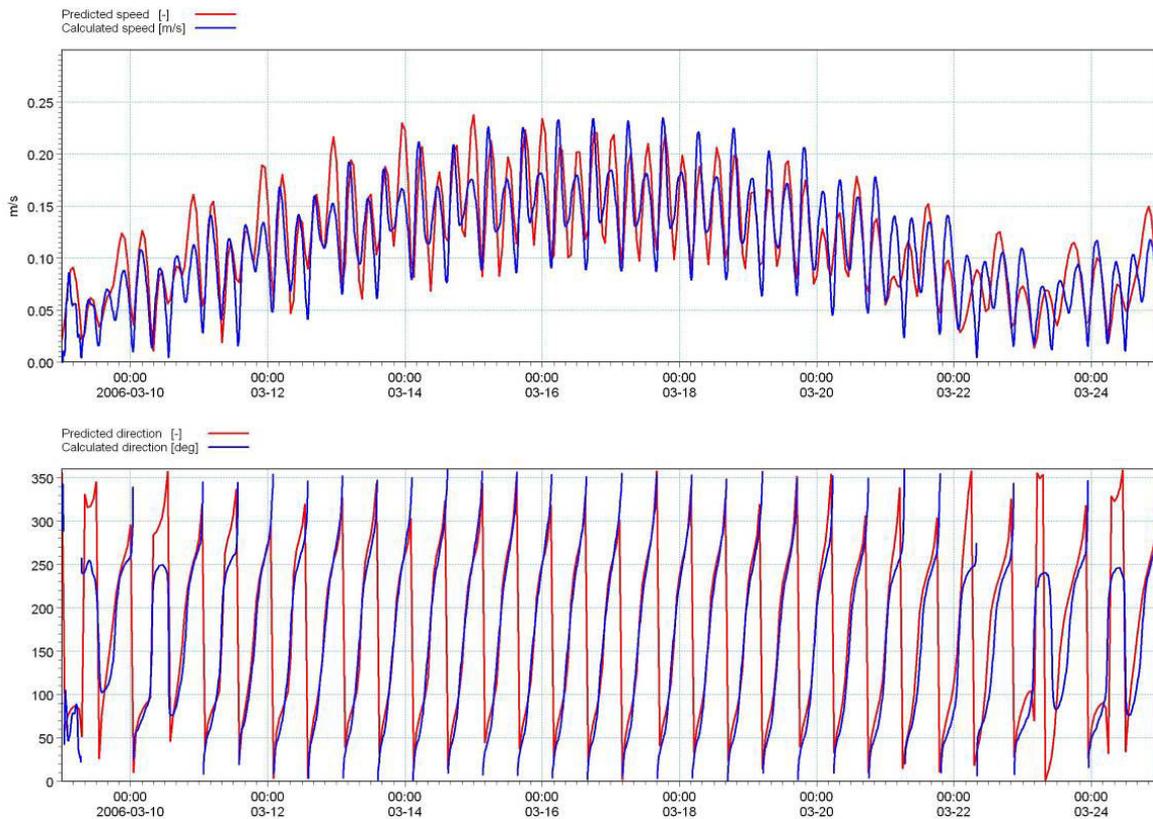


**Figura 5.1.6-57 - Detalhe da área do entorno do canal dragado (estações 2500-4200). Os pontos vermelhos indicam o eixo de navegação do canal. A batimetria apresentada é de fevereiro de 2006.**

A Figura 5.1.6-58 e a Figura 5.1.6-59 apresentam os resultados de calibração do modelo para as marés e correntes, em que se observa a alta confiabilidade atingida pela modelação numérica empregada atualmente.

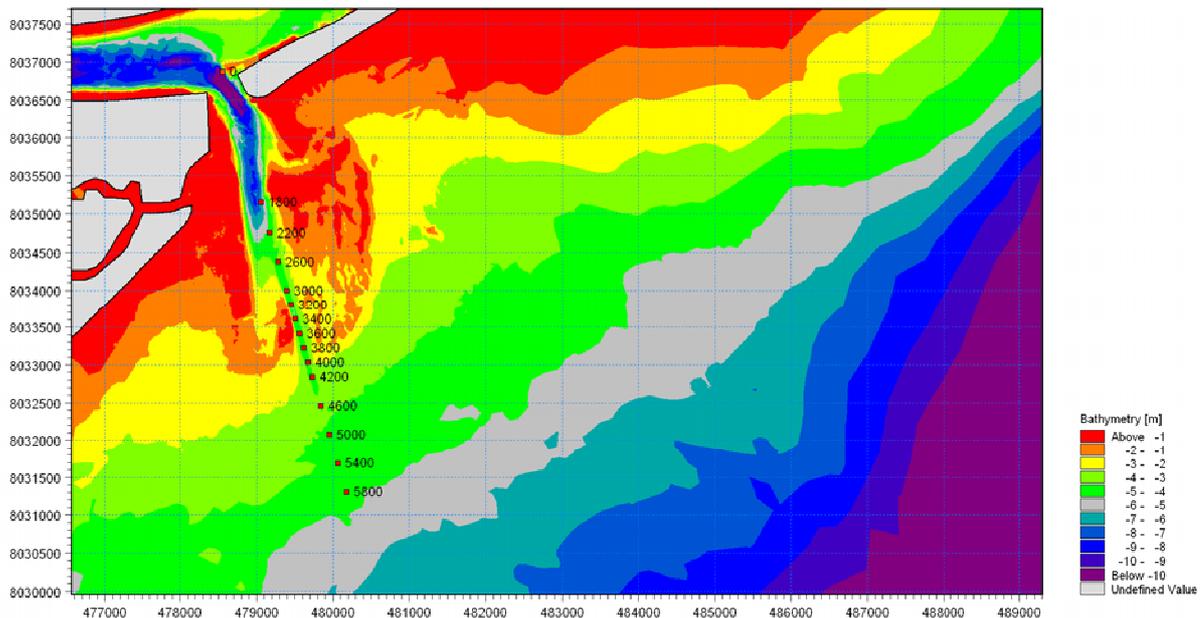


**Figura 5.1.6-58 - Comparação entre maré prevista (curva vermelha) com a maré calculada pelo modelo numérico (curva azul) para o terminal de Caravelas**



**Figura 5.1.6-59 -Comparação entre a magnitude e rumo das correntes medidas (curva vermelha) e a calculada pelo modelo numérico (curva azul) para a estação #106**

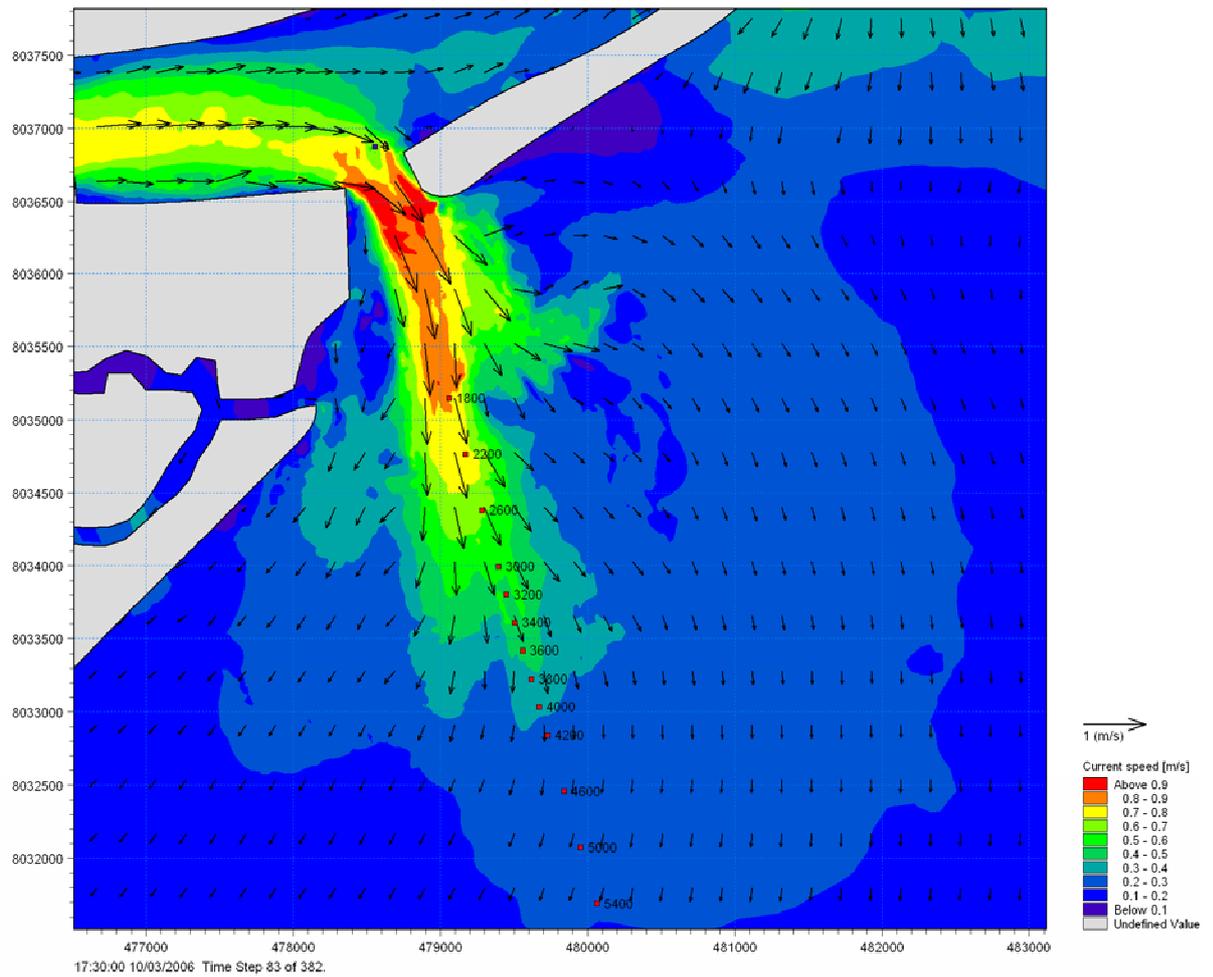
A Figura 5.1.6-60 apresenta a batimetria atual considerada nas modelações



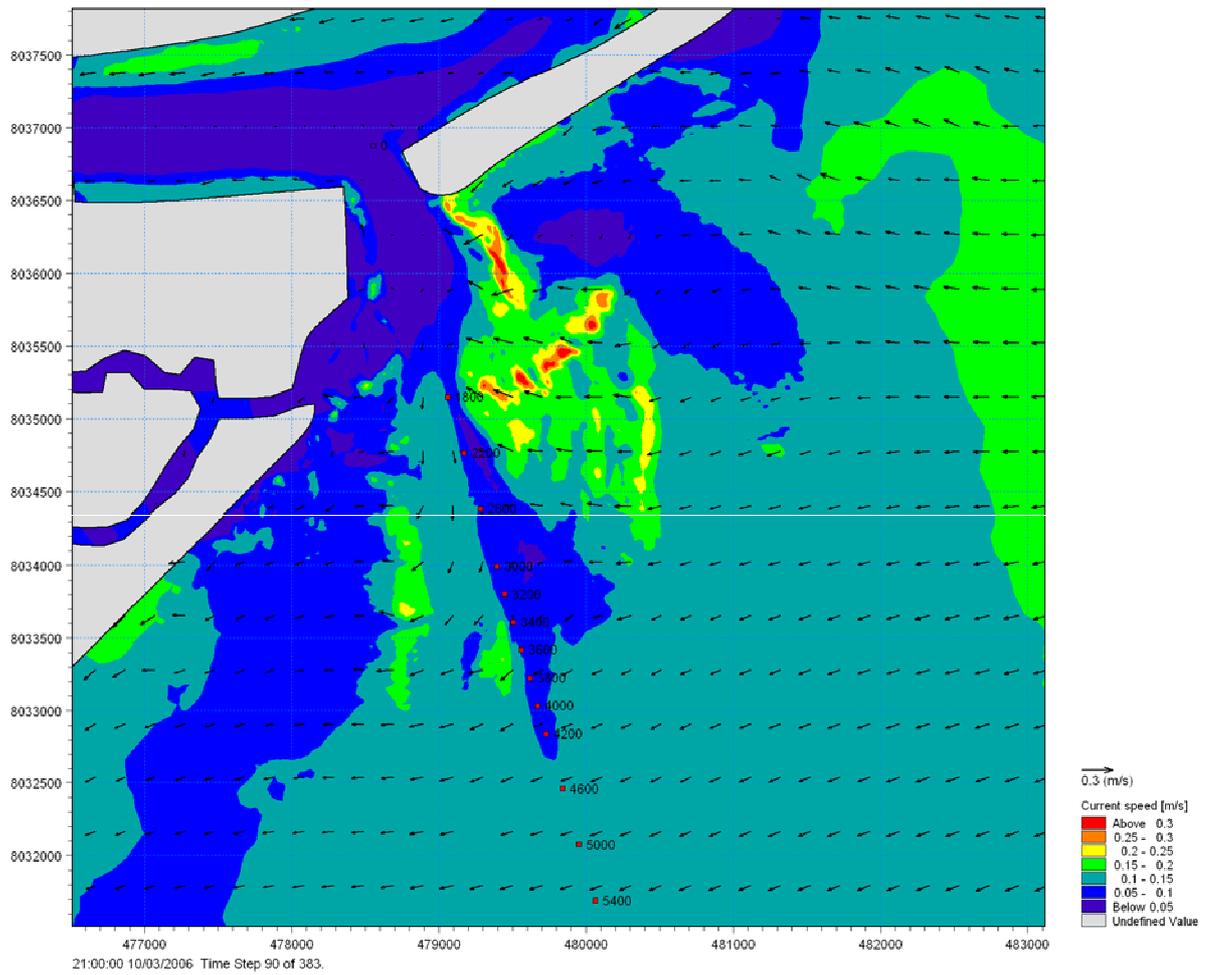
**Figura 5.1.6-60 - Configuração atual do canal.**

Da Figura 5.1.6-61 a Figura 5.1.6-64 são apresentadas as condições de correntes para quatro diferentes estados de maré: vazante, estofa de baixa-mar, enchente e estofa de enchente.

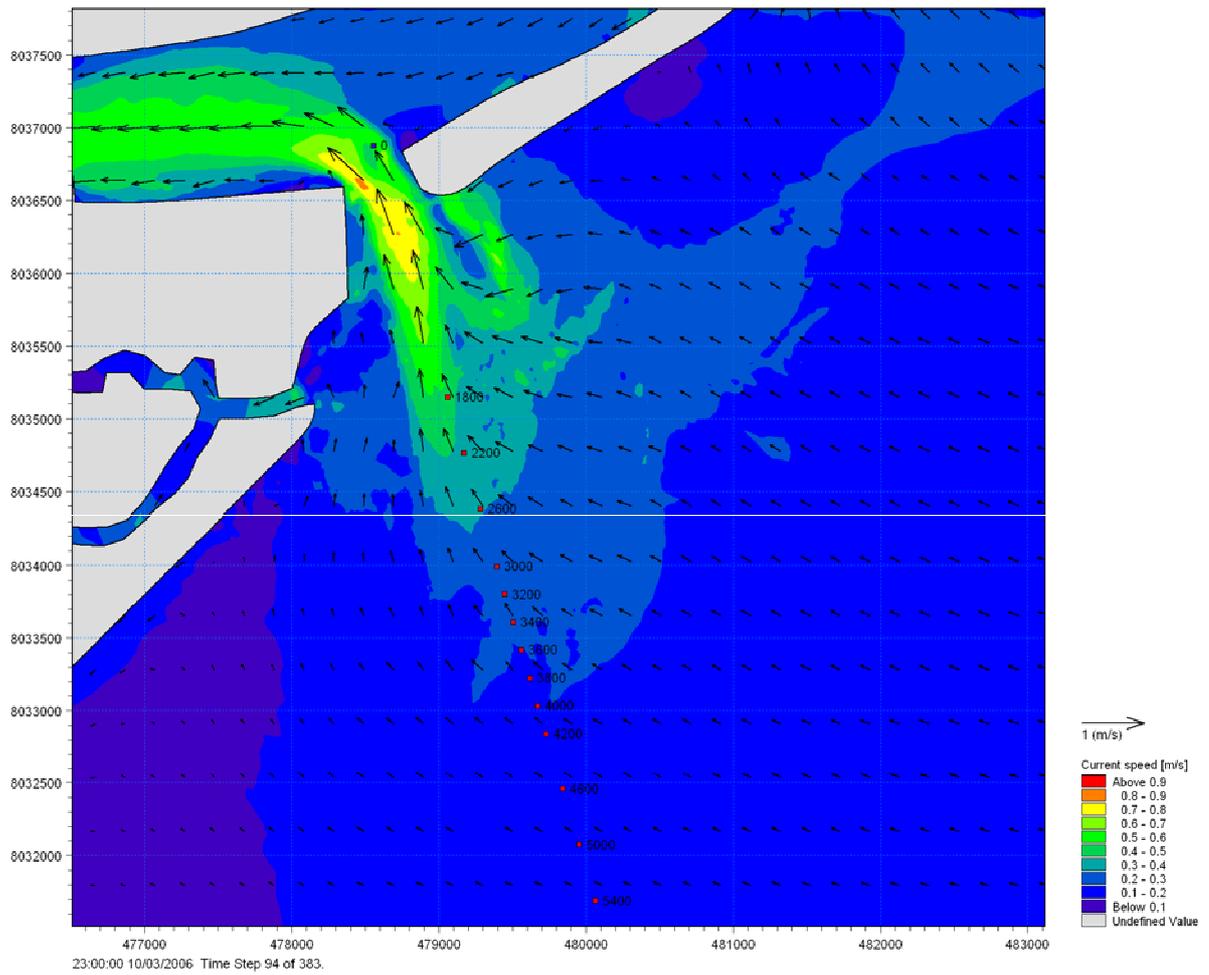
A divergência espacial da corrente de vazante que ocorre entre o canal principal e o secundário é claramente visível. Na estofa de baixa-mar as correntes se tornam muito baixas onde as profundidades são significativas, durante a enchente as correntes convergem de forma uniforme em direção a boca e finalmente na estofa de preamar novamente são observadas correntes de baixa magnitude nas áreas mais profundas do canal principal e secundário.



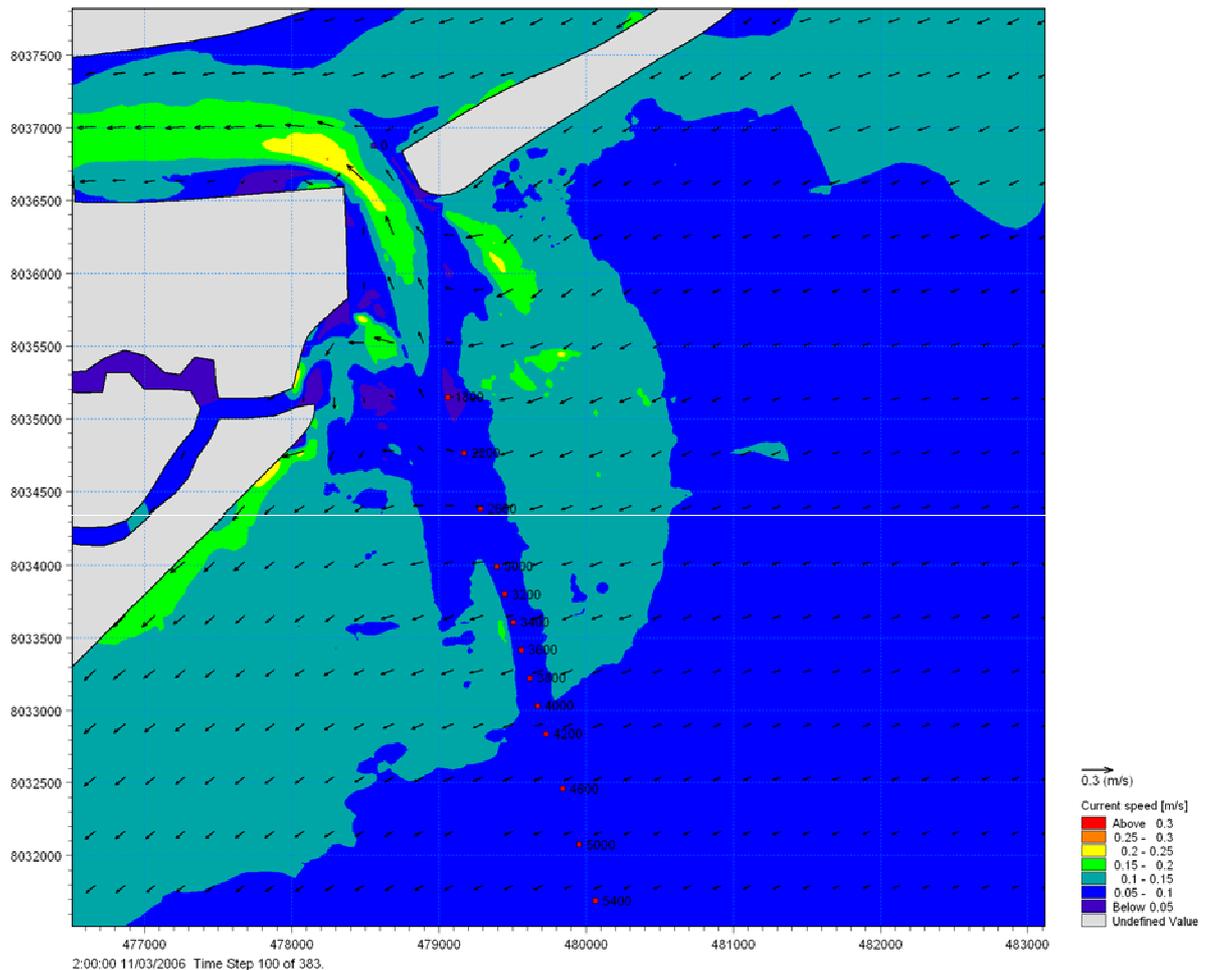
**Figura 5.1.6-61 - Configuração existente do canal. Magnitude e direção das correntes. Vazante**



**Figura 5.1.6-62 - Configuração existente do canal. Magnitude e direção das correntes. Estofa de baixa-mar**



**Figura 5.1.6-63 - Configuração existente do canal. Magnitude e direção das correntes.  
Enchente**



**Figura 5.1.6-64 - Configuração existente do canal. Magnitude e direção das correntes. Estufa de preamar**

Após a calibração das simulações hidrodinâmicas completadas, o DHI procedeu à calibração de seu modelo de transporte de sedimentos não coesivos, através de medições reais obtidas da batimetria em consonância com dados hidrodinâmicos medidos no mesmo período. O período utilizado para a calibração foi de 195 dias entre julho de 2005 e fevereiro de 2006. A Tabela 5.1.6-10 apresenta os resultados após a calibração para a modelação do assoreamento pelas areias.

**Tabela 5.1.6-10 - Assoreamento arenoso medido e modelado para o período entre 22 de julho de 2005 e 02 de Fevereiro de 2006**

Seção do Canal	Assoreamento Medido	Assoreamento Modelado
1800 - 4200	3.920	4.300
2200 - 4200	10.260	10.730
2600 - 4200	13.050	12.810

Observe que os volumes de assoreamento de sedimentos arenosos estão bem reproduzidos pelo modelo numérico.

Da mesma forma que para a areia, a calibração do modelo Mike 21 MT (sedimentos lamosos) foi fundamentada no assoreamento observado e analisado entre o período de 22 de julho de 2005 e 02 de fevereiro de 2006.

As simulações mostraram que uma sedimentação permanente de finos ocorre somente quando condições de calmaria estão presentes. A simulação de assoreamento por lama ao longo do canal foi estimada em 19.000 m<sup>3</sup> para um período de 195 dias. As medições obtidas das batimetrias e análises granulométricas indicam uma sedimentação de 38.000 m<sup>3</sup> para o mesmo período.

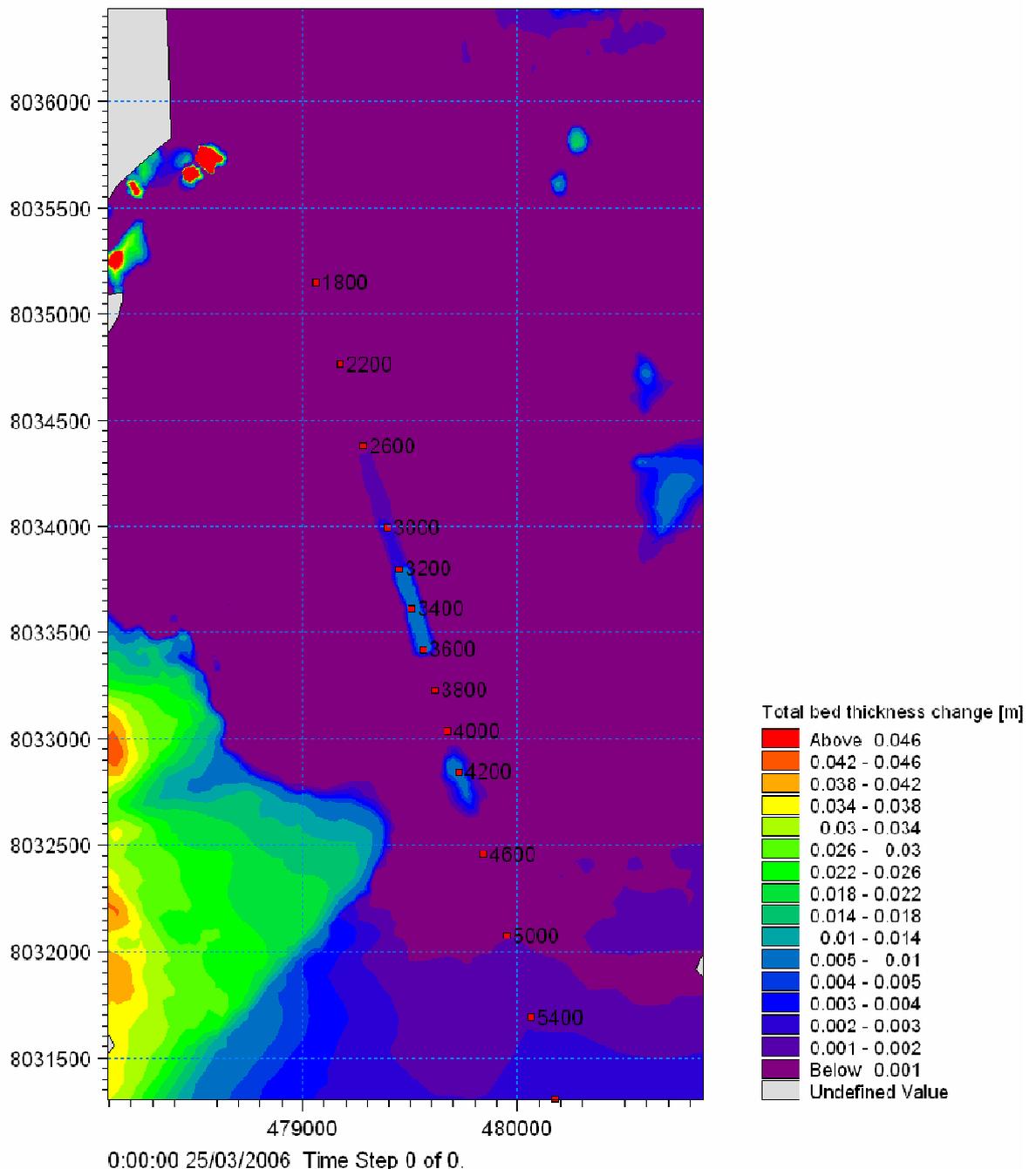
As diferenças entre o real medido e o simulado numericamente podem ser explicadas por uma série de fatores:

- incertezas de concentração de sedimentos após a passagem de um evento de onda energético;
- simulação limitada a uma série de condições de ondas e correntes;
- incerteza do histórico de eventos que comandam a deposição;
- formação de lama fluida sobre os bancos devido a fluxos de gravidade que adentram o canal de ambos os lados;
- incertezas na avaliação do cálculo do volume de lama a partir das batimetrias.

Enfatiza-se que o modelo reproduz corretamente a ordem de magnitude da deposição e localização da sedimentação pelas lammas.

De forma a considerar as incertezas da simulação os resultados devem ser corrigidos. Assim, no caso da lama os resultados devem ser multiplicados por um fator (38.000/19.000) igual a 2,0.

A Figura 5.1.6-65 apresenta o resultado da deposição de lama ao fim da calibração do longo do canal.



**Figura 5.1.6-65 - Deposição de lama ao final da simulação de calibração (195 dias)**

### Resultados do assoreamento com lama

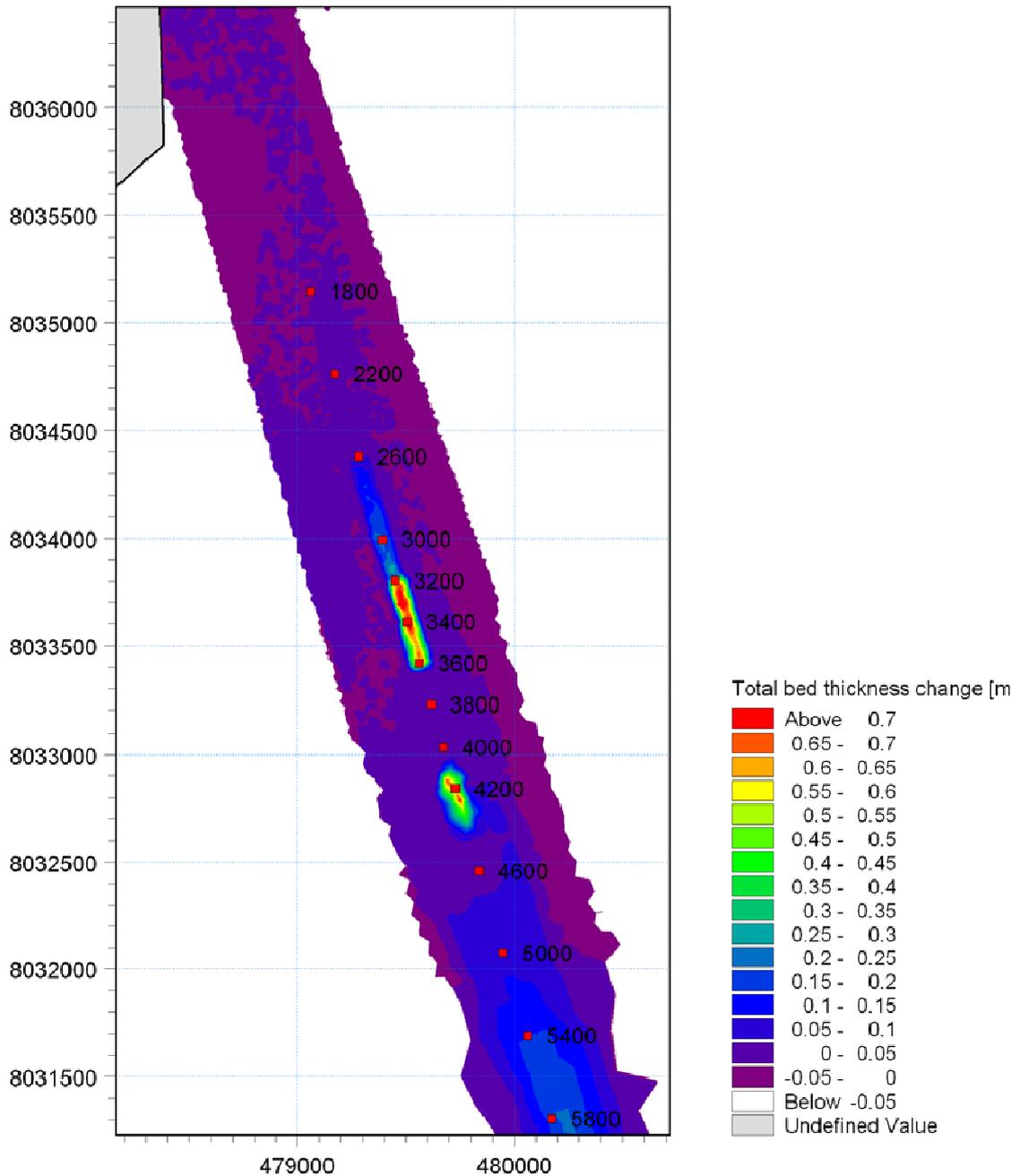
A estimativa anual de assoreamento com lama para o canal ente as seções 100 e 6.200 é apresentada na Tabela 5.1.6-11, para a condição atual do canal e as 4 alternativas propostas no estudo.

**Tabela 5.1.6-11 - Estimativa de assoreamento anual do canal com lama**

Leiaute	Deposição de Lama [m <sup>3</sup> /ano]
Existente	58.000
Alternativa 1	31.000
Alternativa 2	132.000 / 202.000 *)
Alternativa 3	28.000
Alternativa 4	107.000

\*) canal original/canal secundário

Na Figura 5.1.6-66 apresenta - se o cenário de sedimentação de lama anual resultante, para a condição existente.



**Figura 5.1.6-66 - Cenário de sedimentação de lama anual resultante, para a condição existente**

#### Resultado do assoreamento de areias

A deposição resultante anual de areias foi estimada entre as seções 1800 e 4200 para a condição existente e as alternativas 1, 2 e 3. Os resultados são apresentados na tabela 6.5.

**Tabela 5.1.6-12 - Estimativa anual de assoreamento com areia entre as seções 1800 e 4200**

Leiaute	Assoreamento [m <sup>3</sup> /ano]
Existente	27.100
Alternativa 1	26.300
Alternativa 2	32.600
Alternativa 3	27.900

Assoreamento total anual

Assim, o estudo conclui que o assoreamento anual estimado no canal é de aproximadamente 85.000 m<sup>3</sup> dos quais 27.100 m<sup>3</sup> consistem de areia.

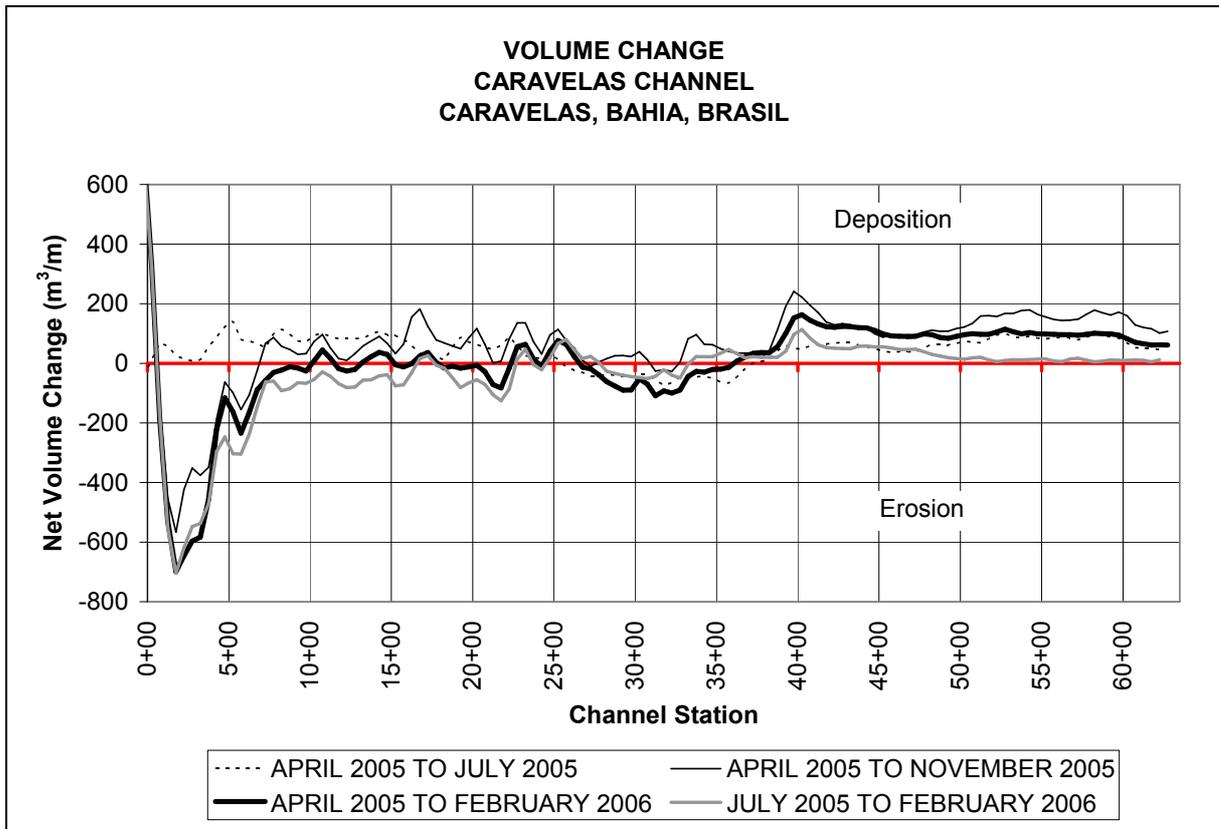
Das alternativas apresentadas, a que conduz menores volumes de dragagem é a alternativa 3 (fechamento do canal secundário), para a qual segundo o estudo, se implantada, deverá aumentar a capacidade de auto-limpeza do canal, reduzindo principalmente a sedimentação de lama, o que deverá reduzir em 45 % a taxa de manutenção anual de dragagem do canal.

De fato, o assoreamento que ocorre no canal do Tomba é um processo muito complexo, e os resultados devem ser considerados com uma margem de segurança de 100 %. Assim, o estudo termina concluindo que a taxa de dragagem de manutenção anual para o canal de acesso situa-se entre 40.000 e 170.000 m<sup>3</sup> por ano.

CEPEMAR, 2006b – Taxas de Sedimentação e Alternativas de Dragagem para o Canal de Acesso a Barra do Tomba, Caravelas-BA

Este estudo analisa a taxa de dragagem de manutenção através de batimetrias adicionais e amostras de sedimentos. Também são utilizados os resultados da última modelação numérica executada pelo DHI.

Com base nos dados extraídos em quatro levantamentos batimétricos recentes, calcularam-se as alterações de volume ao longo do canal para diferentes períodos (Figura 5.1.6-67).

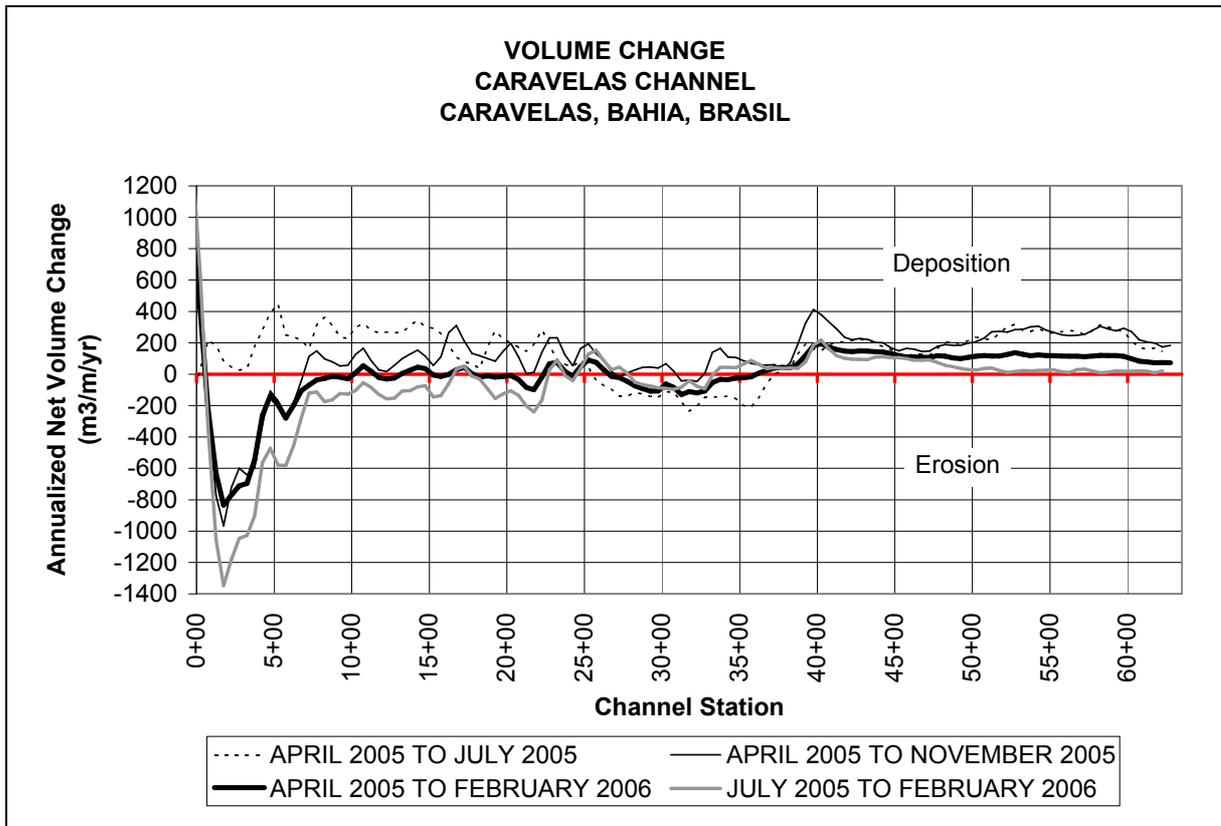


**Figura 5.1.6-67 - Variações líquidas de volume ao longo do canal em diferentes períodos.**  
**Fonte: CEPEMAR (2006b)**

A análise das variações de volume entre as batimetrias (Figura 5.1.6-67 e Figura 5.1.6-68) indica haver maior assoreamento entre as estações que contemplam os trechos 3 e 4 (veja item 3.6 para definição dos trechos).

A análise completa do assoreamento considerou as variações entre as estações 17+00 e 63+00 ao longo do canal. O assoreamento estimado entre o período de abril de 2005 a fevereiro de 2006 foi de 135.000 m<sup>3</sup>, equivalente a uma taxa anual de 160.900 m<sup>3</sup>/ano.

Observa-se, portanto, que a taxa de sedimentação encontrada para o período entre 2005 e 2006 (160.900 m<sup>3</sup>/ano) no trecho compreendido entre as estações 17+00 e 63+00 são inferiores aos valores encontrados por DHI (2006) e mesmo pela própria CPE em 2004.



**Figura 5.1.6-68 - Variações anuais líquidas de volume ao longo do canal em diferentes períodos. Fonte: CEPEMAR-CPE (2006)**

A taxa de 160.900 m<sup>3</sup>/ano foi estimada através de extrapolação e considerou um prazo curto de tempo, que não chegou a cobrir um ano climático completo. Porém, esta taxa confirma a ordem de grandeza dos valores de assoreamento calculados anteriormente.

Assim, CEPEMAR (2006b) confirma o valor de manutenção de dragagem calculado em CPE (2004), isto é, uma magnitude de 200.000 m<sup>3</sup>/ano +/- 50.000 m<sup>3</sup> como forma de manter uma margem de segurança aceitável.

O desvio de 50.000 m<sup>3</sup> deve-se ao grau de incerteza presente na modelação de um sistema costeiro complexo como o observado na interação da foz do rio Caravelas com marés, correntes, ondas e ventos, que podem ano a ano apresentar variações maiores que as consideradas na série temporal modelada.

A análise das características dos sedimentos assoreados confirma a estimativa obtida por DHI (2006), isto é, de que a composição de sedimentos assoreados na totalidade do canal é composta de 30% de areia e 70% de lama.

O estudo recomenda que parte dos sedimentos dragados no trecho central do canal (fração arenosa) seja descartada no canal secundário, presente ao lado do canal principal, de forma a bloquear parcialmente o escoamento pelo canal secundário e garantir maior fluxo pelo canal principal dragado, conforme estudado e apresentado por DHI (2006).

Este estudo encontra-se em conjunto com os demais no Anexo S.

#### 5.1.6.10.4 Conclusão das Modelações Numéricas

Deve-se entender que os fenômenos hidrodinâmicos e de transporte de sedimentos que ocorrem na zona litorânea da desembocadura do Canal do Tomba são complexos. No local existe a influência de ventos, ondas e correntes de maré, há presença de areia, lama e de uma linha de costa ainda em processo de estabilização. Trata-se de uma zona de alta complexidade.

Os estudos de modelação numérica iniciais utilizaram dados disponíveis na época, dados que não foram levantados especificamente para o projeto. Como exemplo, pode-se citar os dados de onda, que no início eram compostos dos dados do Global Wave Statistics, posteriormente foram atualizados pelos dados fornecidos pelo The Met Office Marine Consultancy da Inglaterra, e que na atualidade são substituídos pelos dados das medições locais nas estações #106 e #506.

Os cálculos iniciais de volumes de dragagem apresentaram estimativas inferiores aos observados na condição real. O DHI corrige essa subestimativa nos relatórios mais recentes. Segundo o DHI, o fato de o canal nunca ter sido totalmente dragado para o gabarito de projeto, ocasiona condições hidráulicas desfavoráveis para as correntes de maré auxiliarem na diminuição do assoreamento natural do canal, o que contribuiu para a discrepância dos volumes calculados *versus* os observados na prática.

Os últimos estudos conduzidos pelo DHI e CPE contaram com uma revisão da modelação hidrodinâmica e principalmente sedimentológica, com base nos dados acumulados ao longo das campanhas de dragagem e monitoramento ambiental. Com isso foi possível uma melhor descrição do comportamento hidrodinâmico e dos processos de sedimentação, agora separados em lama e areia, resultando em uma avaliação mais precisa sobre os volumes de dragagem para manutenção do canal.

Consideradas as margens de precisão de modelações de fenômenos complexos como os encontrados no Canal de Acesso do Tomba, o DHI concluiu que o volume de manutenção anual do canal pode atingir 170.000 m<sup>3</sup> na cava enquanto que o CPE apresenta um valor máximo de 250.000 m<sup>3</sup> por ano.

Assim, após análise das magnitudes apresentadas nos estudos específicos realizados e dos cálculos apresentados em 3.6.2.2.5.5, conclui-se que o valor de 250.000 m<sup>3</sup> por ano é o mais adequado para a manutenção anual por dragagem do acesso ao canal do Tomba e que deverá ser requerido na futura licença operacional de dragagem.

#### 5.1.6.10.5 *Periodicidade das Dragagens*

O volume de assoreamento anual do canal estimado ocasiona perdas de profundidades significativas em apenas um ano. De fato, há um ciclo anual de assoreamento ligado ao clima, que durante o inverno e primavera ocasiona uma maior taxa de assoreamento do canal. Assim, acredita-se que a periodicidade no mínimo anual de dragagem é imprescindível para a manutenção deste canal em condições de navegação por todo o ano.

Entende-se que este estudo esclarece de forma fundamentada às questões relativas à necessidade de dragagem quanto ao volume e periodicidade necessários.

Assim, recomenda-se a solicitação de uma licença operacional de dragagem válida por cinco anos, com periodicidade anual para um volume de 250.000 m<sup>3</sup> por ano, o que está em consonância com as diretrizes da Medida Provisória n° 393, de 19 de setembro de 2007, que instituiu o Programa Nacional de Dragagem Portuária e Hidroviária.