

**LUIZ HENRIQUE PEREIRA FONTANA**

**USO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS PARA ANÁLISE DE IMPACTOS FÍSICOS E  
MORFOLÓGICOS POR ATIVIDADES DE DRAGAGENS**

Orientador: Prof. Dr. Estefan Monteiro da Fonseca

Niterói

2018

**LUIZ HENRIQUE PEREIRA FONTANA**

**USO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS PARA ANÁLISE DE IMPACTOS FÍSICOS E  
MORFOLÓGICOS POR ATIVIDADES DE DRAGAGENS.**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Dinâmica dos Oceanos e da terra em da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre na área de geofísica.

Aprovada em Junho de 2018.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Arthur Ayres Neto

UFF

---

Prof. Dr. Hélio Heringer Villena

UERJ

Niterói

2018

Dedico este trabalho a memória do meu pai amado Luiz Alberto Fontana.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, família, professores da graduação, meu orientador Estefan Monteiro da Fonseca qual acreditou em meu potencial, e ao professor Arthur Ayres Neto por todo suporte.

“Um trabalho te dá um propósito e um significado. A vida é vazia sem ambos.” Stephen Hawking.

## **RESUMO**

A dragagem marinha é uma atividade de escavação realizada em todo o mundo por muitas indústrias. Particularmente na atividade portuária, tem maior importância, mantendo as vias navegáveis. Os efeitos do descarte de material dragado nos ecossistemas bentônicos são diversos. Estudos sobre as consequências da dragagem na morfologia estuarina e suas dinâmicas sedimentares são comuns, mas os impactos da dragagem de despejo em ambientes costeiros abertos raramente são encontrados na literatura científica. O presente estudo objetivou avaliar o distúrbio geomorfológico resultante da deposição de material dragado escavado no Porto do Rio de Janeiro, a fim de compreender a capacidade de dispersão de sedimentos na área interna da plataforma continental do Rio de Janeiro, bem como questionar a abordagem utilizada de liberação de material pelo navio de dragagem. Campanhas de campo foram organizadas para apresentar material escavado e descartado por meio da análise granulométrica. Ao mesmo tempo, o impacto da geomorfologia do sítio foi avaliado através de métodos batimétricos e geofísicos. Os dados obtidos revelaram perturbações significativas no fundo do mar e acumulação de sedimentos. Características locais de tamanho de grão mudaram significativamente, potencialmente impactando o ambiente bentônico circundante. Ao final desta dissertação é apresentado em anexo o artigo gerado como produto dos estudos aqui presentes.

**Palavras-chave: Dragagem, Chirp, Side Scan Sonar, Batimetria, Hidrografia.**

## **ABSTRACT**

Marine dredging is an excavation activity carried out worldwide by many industries. Particularly in the portuary activity it has bigger importance by keeping waterways navigable. The effects of disposal of dredged material on benthic ecosystems are diverse. Studies on the consequences of dredging on estuarine morphology and its sedimentary dynamics are common, but the impacts of dumping dredge spoil in coastal open settings are rarely found in scientific literature. The present study objected to evaluate the geomorphic disturbance resulted from de dumping of dredged material excavated from Rio de Janeiro Port, in order to understand the sediment dispersion capacity in the internal area of Rio de Janeiro continental shelf, as well as to question the used approach of material release by the dredging vessel. Field campaigns were organized in order to feature excavated and dumped material through grain size analysis. At the same time site geomorphology impact were evaluated through bathymetric and geophysics methods. Obtained data revealed significant sea bottom disturbance and sediment accumulation. local grain size characteristics changed significantly, potentially impacting surrounding benthic environment. At the end of this dissertation is presented the attached article structured as a study product presented here.

**Keywords: Dredging, Chirp, Side Scan Sonar, Bathymetry, Hydrography**

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Esquema representativo do objetivo da dragagem. ....	14
Figura 2: Draga Sinsom e embarcação Petter Caland, usados na dragagem do porto do Rio de Janeiro.....	15
Figura 3 : Disposição e dispersão do sedimento conforme os tipos de descarte utilizados. ....	16
Figura 4 : Processos de dispersão sedimentar e deposição durante uma atividade de despejo.	17
Figura 5 : Propagação de ondas P e S.....	19
Figura 6 : Raio refletido e transmitido associado a um raio normalmente incidente sobre uma interface de contraste de impedância.....	21
Figura 7: Esquema de funcionamento do Side Scan Sonar. ....	22
Figura 8: Esquema do levantamento batimétrico utilizando ecobatímetro monofeixe. ....	23
Figura 9 : Mapa de localização da área de despejo de material dragado proveniente do Porto do Rio de Janeiro. ....	24
Figura 10 : Compilação das curvas da variação do nível médio do mar baseado na razão isotópica $\delta^{18}O$ para plataformas continentais (Reis et al. 2013). ....	26
Figura 11 : Mapa granulométrico da distribuição de sedimentos na Bacia de Santos. ....	27
Figura 12 : Carta sedimentológica da plataforma e talude entre RJ e ES. Fonte: Modificado de Dias, 2000.....	28
Figura 13: Estratigrafia da Plataforma Sudeste. ....	29
Figura 14: Esquema do padrão de circulação da Corrente do Brasil (BC - vermelho) e da Corrente de Contorno Intermediária (IWBC - Azul).....	30
Figura 15: Imagem do satélite (Landsat NOAA-12) ilustrando o meandramento da Corrente do Brasil.....	32
Figura 16: Representação da circulação da CCP (Corrente de Contorno Profundo) nas profundidades 1300 – 3260 m. ....	33
Figura 17 : A - Diagrama mostrando a frequência anual de direção das ondas na plataforma. (Souza, 1988), B - Diagrama mostrando a frequência de direção das ondas nas estações do ano (Souza, 1988).....	34
Figura 18 : Mapa de localização das áreas dragadas no Porto do Rio de Janeiro. ....	36
Figura 19 : Composição de sedimentos da Baía de Guanabara. (1C-campanha 1, 2C-campanha 2, 3C-campanha 3). ....	37
Figura 20: Draga Van Vem (A) e Gravity Corer (B) extraída de <a href="https://aratu.net">https:// aratu.net</a> .....	37
Figura 21: Pontos de caracterização do pacote sedimentar. ....	38



Figura 22: Tabela com método de coleta empregado na caracterização do pacote sedimentar. .....	38
Figura 23: Amostra de sedimentos(2 a 7).....	40
Figura 24 : Amostra de sedimentos (14 e 16 a 20 ).....	41
Figura 25: Linhas navegas nas campanhas de 2015 (preto) e 2017 (marrom).....	42
Figura 26: Ecobatímetro OHMEX Sonar Mite. ....	43
Figura 27: Mapa de isóbatas e valores numéricos das profundidades referentes ao levantamento batimétrico de 29 de junho de 2017.....	44
Figura 28: Exemplo de Side Scan Sonar utilizado em campanha.....	45
Figura 29 : Esquema de levantamento sísmico( Perfilagem de subfundo ) Extraído e adaptado de <a href="http://www.geomytsa.es">http://www.geomytsa.es</a> .....	46
Figura 30: Mapa de distribuição da granulometria dos sedimentos superficiais da Baía de Guanabara.....	48
Figura 31: Mapa batimétrico de abril de 2016 e junho de 2017.....	49
Figura 32 : Mapas apresentando a morfologia do fundo marinho e as mudanças mais significativas ocorridas depois da dragagem em 2017. ....	51
Figura 33: Modelo digital de terreno da batimetria realizada em Junho de 2017 e 2016. ....	52
Figura 34: Relatório de volumes obtido com o software.....	53
Figura 35: Subtração evidenciando sedimentos depositados e como mudaram as características físicas da área de descarte. ....	54
Figura 36 : Mosaico sonográfico relativo ao levantamento realizado em 18/11/2015.....	55
Figura 37: Mosaico sonográfico relativo ao levantamento realizado em 14/04/2016.....	56
Figura 38: Mosaico sonográfico do levantamento realizado em maio de 2017. ....	57
Figura 39 : Embarcação Cornelis Lely (Batelão) sendo carregado pela Draga Sinson com lama compactada da Baía de Guanabara. ....	58
Figura 40 Grid batimétrico superposto ao Mosaico sonográfico do levantamento realizado em maio de 2017. ....	59
Figura 41 : Linhas usadas para a comparação dos levantamentos sísmicos em 2015 e 2017..	61
Figura 42 : Perfis Sísmicos L1 de 2015 e L07 de 2017.....	62
Figura 43: Perfis sísmicos L02 de 2015 e L08 de 2017 .....	63
Figura 44 : Perfis sísmicos L11 de 2015 e L12 de 2017. ....	64

Figura 45 Perfis sísmicos L11 2015 e L12 2017 com ampliação evidenciando o aumento topográfico devido aos depósitos de dragagem e a mudança das características sedimentares locais através do refletor.....	65
Figura 46 Perfis sísmicos L11 2015 e L12 2017 com ampliação evidenciando o aumento topográfico na área central devido aos depósitos de dragagem.....	65
Figura 47 Perfis Sísmicos L10 de 2015 e L11 de 2017.....	66
Figura 48 Perfis Sísmicos correlacionados a batimetria da área de descarte. Através desta comparação podemos ter uma visão tanto de forma plana quanto perfilada do local de estudo em questão. ....	67

## SUMÁRIO

<b>1. Apresentação</b> .....	13
<b>2. Objetivo</b> .....	15
<b>3. Introdução Teórica</b> .....	15
3.1 Comportamento dos depósitos de material dragado .....	15
3.2 - Fundamentos Dos Métodos De Investigação. ....	17
3.2.1 Ondas De Corpo .....	18
3.2.2 Sísmica De Alta Resolução .....	19
3.3 Sidescan Sonar .....	21
3.4 Batimetria single beam .....	23
3.5 Avaliação De Volume.....	23
<b>4. área de estudo</b> .....	24
4.1 Área de Descarte.....	24
4.1.1 A Plataforma Continental .....	24
4.1.2 Geomorfologia Regional .....	25
4.1.3 Estratigrafia da plataforma ( Pleistoceno Médio Superior ) .....	29
4.1.4 Circulação .....	30
4.1.5 Direção Das Ondas locais .....	33
4.2 Características Área de Dragagem (Baía De Guanabara).....	34
4.2.1 Estudos prévios dos Sedimentos na área de dragagem.....	36
<b>5. - Materiais e Métodos</b> .....	37
5.1 Métodos Diretos (Coleta de testemunhos ).....	37
5.2 Métodos Acústicos.....	42
5.2.1 Ecobatimetria.....	42
5.2.2 SideScan Sonar .....	45
5.2.3 Sísmica.....	45

5.3 Estimativas De Volume Despejado. ....	46
<b>6. Resultados e Discussões.....</b>	<b>46</b>
6.1 Amostras de Sedimentos.....	46
6.2 Batimetria (Single Beam) .....	48
6.3 Cálculo de Volume .....	53
6.4 Dados Sonográficos .....	54
6.5 Levantamentos Sísmicos .....	60
<b>7. Conclusões .....</b>	<b>68</b>
<b>8. Referências .....</b>	<b>70</b>
<b>Anexo 1 .....</b>	<b>77</b>

# Uso de métodos geofísicos para análise de Impactos físicos e morfológicos das atividades de dragagens

## 1. APRESENTAÇÃO

A caracterização das superfícies e subsuperfície das áreas submersas possui grande importância. Tal procedimento auxilia tecnicamente o planejamento das atividades humanas concentradas nesses complexos e sensíveis ambientes que possuem muitos dos recursos naturais demandados pelo desenvolvimento econômico da sociedade moderna (**Souza, 2006**).

Atividades desenvolvidas em portos geram perturbações com consequências sobre o meio ambiente. Meio ambiente é entendido como um conjunto de condições, leis, influências e interações que regem a vida em todas as suas formas (**Brasil, 1981**). A dragagem é uma necessidade não somente para os portos (implantação, aprofundamento ou manutenção), canais de acesso e hidrovias, mas também para a remediação com propósito limpar e recuperar áreas com sedimentos contaminados (**Goes Filho, 2004**). Segundo a **Marinha do Brasil (1998)**, uma área de despejo de material dragado é o local onde os materiais resultantes das atividades de dragagem possam permanecer por tempo indeterminado, em seu estado natural ou transformado em material adequado onde essa permanência, não prejudique a segurança da navegação, nem cause danos ao meio ambiente ou à saúde humana.

Segundo **Castiglia (2006)** e **Monteiro (2008)**, na composição do material dragado, predominam partículas minerais, que variam de areia grossa a fina, silte e argila; também matéria orgânica e diferentes tipos de materiais como fragmento de rochas, madeira, pedaços de metais, vidros etc. Resíduos e rejeitos de dragagem podem possuir compostos orgânicos halogenados, metais pesados, petróleo, óleos, pesticidas, fluoretos, substâncias radioativas e outras substâncias, merecendo especial atenção quanto ao seu despejo (**Hollister, C.Det al 1972**). Algumas alternativas para disposição dos resíduos de dragagem são:

- Em corpos hídricos abertos, como oceanos, estuários, rios e lagos, que não estejam isolados das águas adjacentes durante o processo. Nesse caso, os resíduos devem estar limpos ou moderadamente contaminados;
- Em mar aberto, são consideradas duas opções: em água profunda, além da plataforma continental, e na própria plataforma continental;
- Em locais confinados ou áreas de disposição confinadas, sejam em corpos hídricos, como depressões na região costeiras ou retidas entre diques em terra, principalmente;

quando o sedimento dragado contaminado, que necessita de controle, monitoramento ou manejo em aterros (Goes Filho, 2004; Almeida, 2004; Castiglia, 2006; Torres, 2000).

A presente Dissertação consiste na análise de impactos físicos e geomorfológicos da área destinada a recepção de rejeitos da dragagem realizada no Porto do Rio de Janeiro. A dragagem teve por objetivo a ampliação da bacia portuária e o aprofundamento de canais de acesso às embarcações de maior calado, tornando o leito navegável e conseqüentemente ampliando o seu acesso. A figura 1 mostra um esquema representativo da problemática do porto justificando a necessidade do aprofundamento de 15 m do leito permitindo assim a atracação de embarcações de grande porte.

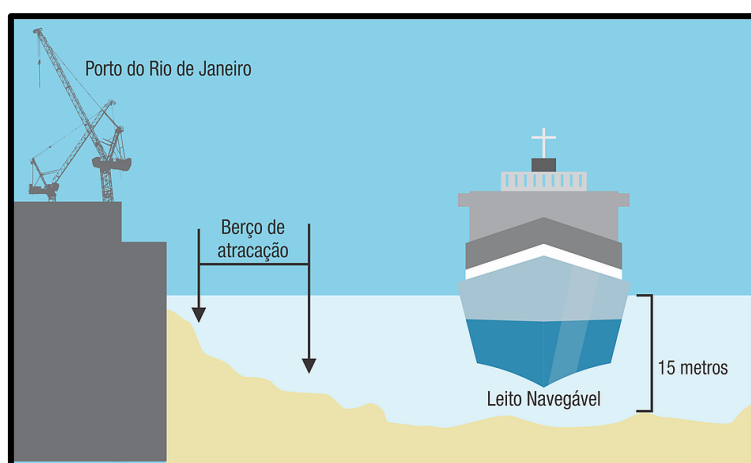


Figura 1: Esquema representativo do objetivo da dragagem. Extraída de: [www.dragagemportodorio.com.br/empreendimento](http://www.dragagemportodorio.com.br/empreendimento).

O transporte do material dragado da Baía de Guanabara contou com o uso das embarcações Corelis Lely e Petter Caland, responsáveis pelo transporte do material até a área de descarte. A draga Simson foi a responsável pela retirada dos sedimentos da Baía de Guanabara como mostra a figura 2.



Figura 2: Draga Sinsom e embarcação Petter Caland, usados na dragagem do porto do Rio de Janeiro. Foto por Luiz Henrique Fontana

## 2. OBJETIVO

O objetivo primário deste trabalho é caracterizar e quantificar as mudanças geomorfológicas de fundo nas regiões de despejo de material dragado, situadas na plataforma continental rasa, adjacente à Baía de Guanabara, através do uso dos métodos diretos como a coleta de sedimentos através de draga do tipo Van Veen e testemunhos através do Corer, além do uso dos métodos indiretos como aquisição de dados por perfilador sísmico chirp para a imagem de subsuperfície, Imageamento por Sonar de varredura lateral e Ecobatimetria monofeixe.

## 3. INTRODUÇÃO TEÓRICA

### 3.1 COMPORTAMENTO DOS DEPÓSITOS DE MATERIAL DRAGADO

Ao ser despejado na área de descarte, o material dragado pode apresentar diferentes formas de disposição na coluna d'água e no fundo oceânico. **Bokuniewicz e Gordon (1980)** inferiram taxas relativamente baixas entre 1% e 5% de dispersão em relação ao total de carga despejada, concluindo que as correntes de marés teriam maior influência no transporte de sedimentos, seguidos pelos eventos de tempestade. A estimativa de dispersão do sedimento despejado depende da localidade aonde ocorre o descarte, do tipo de material que foi dragado e dos métodos de dragagem/descarte realizados (**Gonçalves, 2013**).

A variação sedimentar é composta basicamente pela granulometria e grau de coesão do sedimento. Em ambientes estuarinos as frações argilosas e orgânicas são as mais presentes, mesmo assim parte do material pode conter areia grossa e fina e cascalhos (**Castiglia, 2006**). No cenário urbano encontra-se argila, matéria orgânica, rochas e materiais comumente descartados nas áreas urbanas (madeiras, plásticos e metais).

Essa variação de composição granulométrica faz com que haja diferentes tipos de deposição, ao se despejar o material. Quanto maior o nível de coesão do material, (no caso material siltoso e argiloso), ocorre maior acúmulo vertical e diminuição de extensão radial da área disposta, e quando o sedimento não é tão coeso, como cascalhos e areias mais grossas, há a tendência de maior espalhamento, e a deposição se dá em forma de chuva dos grãos (**Gonçalves, 2013**). Os métodos utilizados na dragagem/descarte afetam diretamente na deposição do material (Figura 3) principalmente pelo nível de perturbação sofrida pelo material no momento de sua retirada do local original, também influenciam o meio em que esse material é transportado e a quantidade de água introduzida e misturado ao sedimento no processo de dragagem (**Gonçalves, 2013**).

Como exemplos usuais, tem-se o material produzido por dragas hidráulicas, que utilizam grandes quantidades de água misturadas aos sedimentos, assim gerando um material menos denso e pastoso, e os sedimentos dragados mecanicamente, que mantém os aglomerados originários da remoção (**Brannon J.M. 1990**). No primeiro caso há a tendência de espalhamento dos depósitos numa maior área, e maior facilidade de dispersão na coluna d'água, enquanto o despejo de material dragado mecanicamente forma montes mais íngremes com maior resistência à erosão.

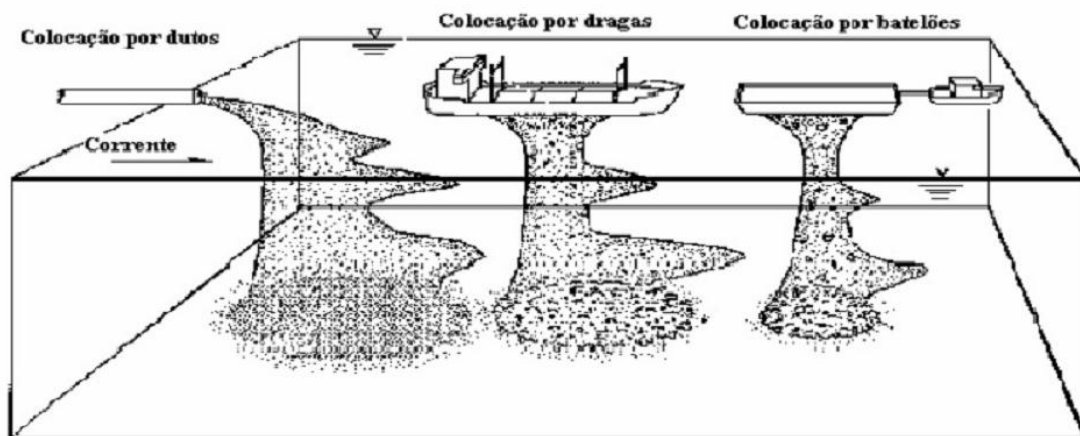


Figura 3: Disposição e dispersão do sedimento conforme os tipos de descarte utilizados. Extraído de Brannon J.M. 1990



Segundo **McAnally e Adamec (1987)** comportamento do material descartado pode ser dividido em três fases:

- Descida convectiva – no qual a nuvem de descarga cai através da coluna d'água sob a influência da gravidade;
- Colapso dinâmico – onde ocorrem os impactos no leito marinho gerando ressuspensão em forma de nuvem na parte inferior da coluna de água;
- Dispersão passiva em longo prazo quando se encerra a dinâmica da operação de despejo e começa o transporte de material, determinado pelas correntes marinho adjacente ao fundo marinho (Figura 4).

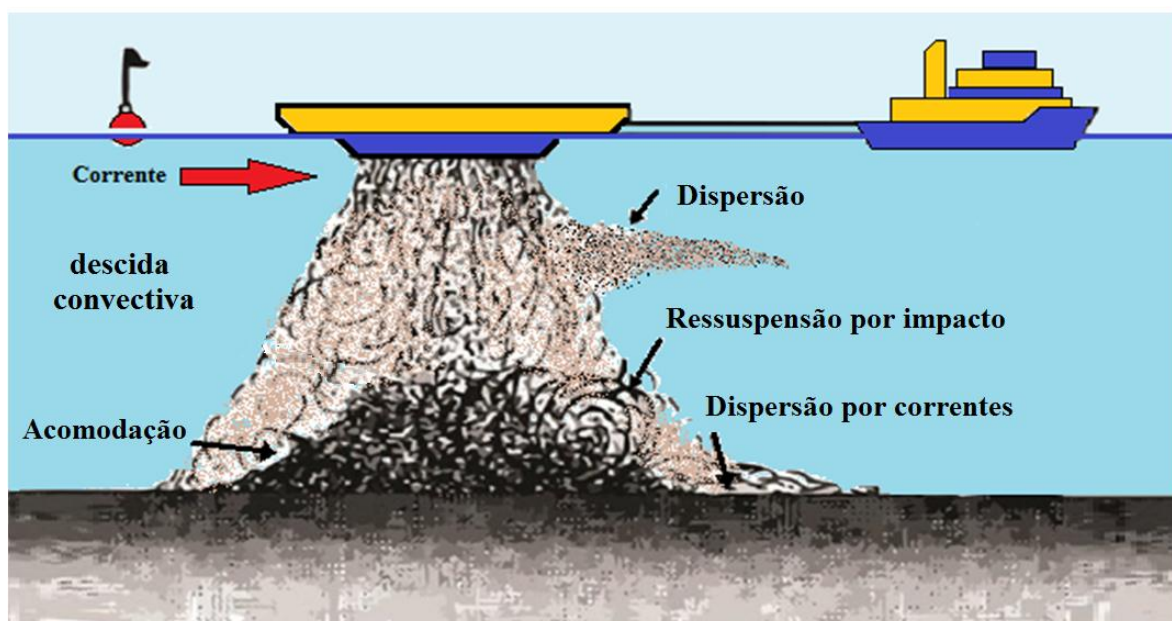


Figura 4 : Processos de dispersão sedimentar e deposição durante uma atividade de despejo.

### 3.2 - FUNDAMENTOS DOS MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO.

Quando a interação entre a dinâmica e a morfologia de fundo é analisada de forma sistemática com os métodos acústicos, pode-se obter um alto grau de detalhamento no estudo das feições da topografia submarina e da hidrodinâmica subjacente (**Wewetzer e Duck, 1999; Wewetzer et al., 1999; Duck e Wewetzer, 2000; Lobo et al., 2002**). Nos estudos estratigráficos, o uso sísmica de alta resolução fornece informações valiosas para a compreensão da morfologia da plataforma durante as variações glacio – eustáticas e os sistemas deposicionais. A aplicação deste método é considerada recente, pois até então a evolução geomorfológica dos sistemas deposicionais da plataforma sudeste tinha sido investigada apenas através dos levantamentos batimétricos convencionais (**Reis et al., 2013**).

**Lima (2003)** utilizou-se de dados batimétricos e sísmicos de alta resolução adquiridos por Sub Bottom Profiler de 3.5 kHz para a análise dos mecanismos de formação de corpos sedimentares profundos e suas inter-relações na margem continental Sudeste - Sul do Brasil e bacia oceânica adjacente. Tendo como objetivo final a reconstrução da história da sedimentação na bacia durante o Cenozóico, a análise destes dados permitiu mapear a coluna sedimentar cenozóica identificando contatos concordantes e discordantes entre as formações e localizando os depocentros das formações identificadas.

### **3.2.1 ONDAS DE CORPO**

As ondas de corpo podem ser de dois tipos: compressionais ou longitudinais, (também conhecidas como ondas primárias ou ondas P) e as ondas de cisalhamento (também conhecidas como transversais, secundárias ou ondas S.) As ondas P são chamadas primárias porque são as primeiras que podem ser observadas em um sismograma. Este tipo de onda provoca uma deformação uniaxial na direção da propagação da onda, ou seja, provoca a compressão e a expansão da rocha. Já as ondas S apresentam velocidades menores que as ondas P e, por isso, seu registro em um sismograma ocorre sempre algum tempo depois do registro da onda P. Neste tipo de onda as partículas vibram em uma direção perpendicular à de propagação da onda (**Kearey et al., 2009**). A figura 5 mostra um esquema representativo das ondas P e S. No entanto, os métodos geofísicos acústicos utilizam apenas as ondas P, já que as ondas S não se propagam na água.

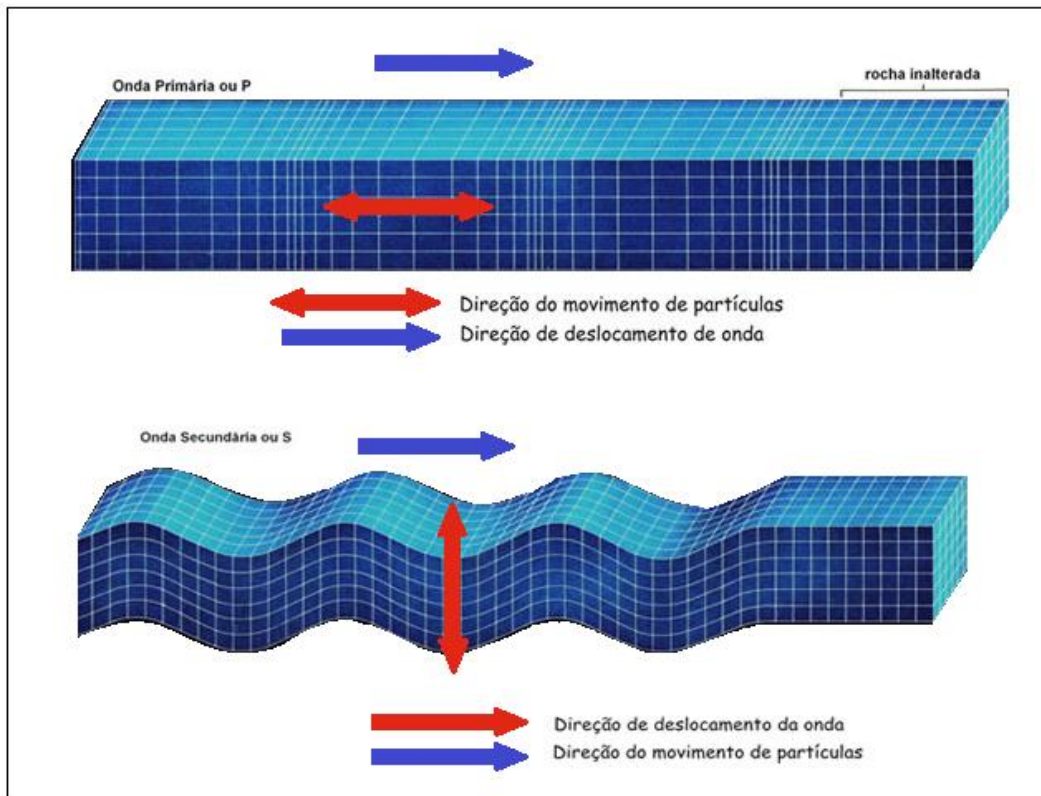


Figura 5 : Propagação de ondas P e S. Extraído e modificado de <http://colegiopaulistano.com>

### 3.2.2 SÍSMICA DE ALTA RESOLUÇÃO

Os levantamentos sísmicos de reflexão são as técnicas mais conhecidas e largamente utilizadas pela indústria de hidrocarbonetos, recebendo assim um amplo investimento para aprimorá-la, junto com equipamentos eletrônicos e computação avançada. As seções sísmicas reproduzem detalhes de estruturas geológicas que vão de dezenas de metros das camadas de solos intemperizadas até a litosfera como um todo, através do processamento dos dados adquiridos com a sísmica (Kearey et al., 2009). Algumas características da sísmica de alta resolução são:

- Alta atenuação do sinal
- Alta resolução das camadas superficiais
- Fontes de baixa energia
- Largas faixas de bandas

Ter uma resolução menor significa possuir maiores níveis de ruídos no receptor e com isso, os ecos desejados tendem a ser mascarados. A caracterização dos ecos coerentes sem a presença de altos níveis de ruído caracteriza a sísmica de alta resolução (Mosher & Simpkin, 1999). Durante as últimas décadas, a sísmica marinha de alta resolução vem sendo amplamente usada para diversos tipos de

trabalho, como por exemplo, os estudos de processos sedimentares e de evolução tectônica, tanto em ambientes costeiros quanto em águas profundas. Como exemplo de estudos utilizando essas técnicas temos: **Van Andel e Sachs (1964), Damuth (1975 e 1980), Damuth & Hayes (1977), Boudur & Ergin (1992), Costa & Figueredo (1996), Novak & Pedersen (2000), Lubberts & Bem-Avraham (2002).**

A sísmica de alta resolução tem como base no princípio de transmissão de ondas acústicas através de camadas sedimentares, que é dependente de propriedades litológicas como densidade, composição, saturação em água e gás (**Sheriff, 1980e Moranget al., 1997** ). Ao encontrar uma mudança abrupta de propriedades elásticas, parte da energia da onda é refletida e outra é refratada para o outro meio. Detectar uma interface geológica é dependente da intensidade do sinal refletido e desta partição de energia na interface entre as matérias (**Moranget al., 1997**). Segundo **Sheriff& Geldart. (1982)**, a relação entre energia refletida e transmitida de um raio incidente é dada por:

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} = \frac{\rho_2.v_2 - \rho_1.v_1}{\rho_2.v_2 + \rho_1.v_1}$$

Onde  $\rho_1, \rho_2, v_1, v_2, Z_1, Z_2$  são os valores da densidade, velocidades das ondas P e por fim da impedância acústica na primeira e na segunda camada respectivamente. Através dessa equação segue-se que  $-1 \leq R \leq +1$ . Um valor negativo de R significa uma mudança de fase de  $\pi$  ( $180^\circ$ ) (**Kearey et al., 2009**). A figura 6 mostra a relação de raio refletido e transmitido.

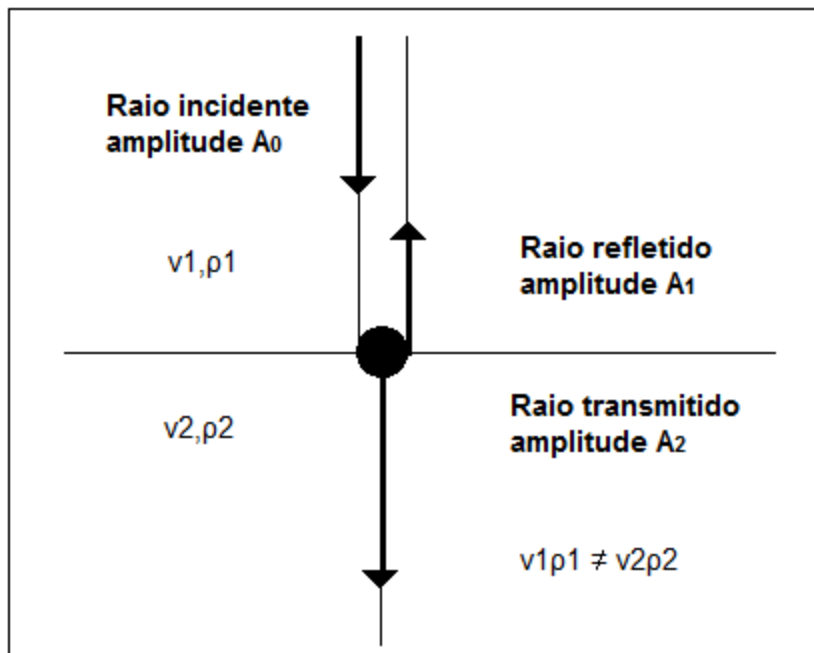


Figura 6 : Raio refletido e transmitido associado a um raio normalmente incidente sobre uma interface de contraste de impedância. Extraído do Livro Geofísica de Exploração de Philip Kearey (2009).

### 3.3 SIDESCAN SONAR

O sonar de varredura lateral é amplamente utilizado para mapeamento e reconhecimento da distribuição dos sedimentos de fundo do mar em diversas escalas. Ao longo da última década, à medida que o equipamento reduziu seu custo e tornou-se mais simples, as universidades, as agências governamentais e as empresas também passaram a adotá-lo para pesquisas arqueológicas, marítimas, localização de naufrágios e locais de habitação inundados (J.B. Arnold e, R.S. Weddle., 1978 ; C. Beltrame e D. Gaddi.,2002 ; G.F. Caston ., 1979 ; M. Dean ., 1999 ; C.H. Hobbs et al ., 1994 ; R. Quinn ., 1998 ; R. Quinn et al ., 2002 ; H.D. Smith and A.D. Couper ., 2003 ; A.J. Wheeler ., 2002).

A assinatura geofísica e a resolução prática dos dados gravados dependem de muitos fatores, incluindo a metodologia de transmissão, o sinal do transdutor, os tipos de material ensonificado, o alcance, as condições de levantamento, o ângulo do rebocamento e o processamento de dados pós-aquisição. Até o início da década de 1990, a maioria dos navios de pesquisa objetivavam o reconhecimento na natureza marinha (J.B. Arnold and R.S. Weddle.,1978 ; G.F. Caston ., 1979 ; M. Redknapand G. Fleming ., 1985 ) e principalmente a investigação para a localização de naufrágios que ofereceriam perigo perto aos portos e a navegação ( J.B. Arnold and R.S. Weddle., 1978; M. Redknapand G. Fleming.,1985 ; M. Redknap., 1990).

Softwares de georeferenciamento permitem posicionar mosaicos de Side Scan Sonar produzindo imagens em grande escala que permitem constituir uma base para estudos mais precisos (R. Quinn et al.,1998; R. Quinn., 2002 ) Essa abordagem é amplamente utilizada na verificação da veracidade dos levantamentos convencionais realizados em visibilidade subaquática quase zero ( R. Quinn et al.,1998 ) e para monitorar mudanças nas estruturas do naufrágio e desenvolvimento do local com referência ao meio ambiente natural (R. Quinn et al.,1998). Este equipamento mostra-se deficiente em fazer estimativas e avaliações rápidas em lugares onde há pouca informação quantificada, mas, mesmo assim, é possível interpretar fenômenos naturais de forma apropriada como locais de naufrágio (R. Quinn et al., 2002 ).

A imagem é um resultado da reflexão da energia acústica pelo fundo marinho e é exibida em diferentes tons de cinza. As diferenças na retrodifusão estão em ordem decrescente determinada por:

- (1) a geometria do sistema sensor-alvo,
- (2) o ângulo de incidência de cada feixe, inclinação local, etc.,
- (3) as características físicas da superfície, tais como a rugosidade da micro escala
- (4) a natureza intrínseca da superfície (composição, densidade, importância relativa do volume versus superfíciedifusão / difusão para a frequência selecionada) Morton JW., 1997 .A figura 7 mostra de forma esquemática o levantamento de Side Scan Sonar.

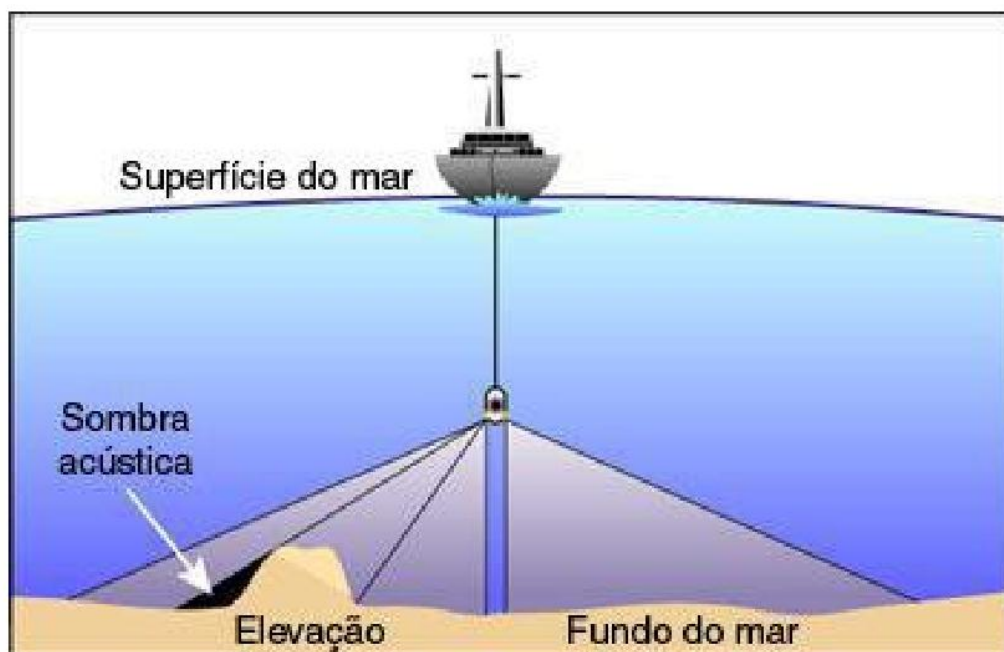


Figura 7: Esquema de funcionamento do Side Scan Sonar. Fonte: [www.punaridge.org/doc/factoids/digitaldata/default.htm](http://www.punaridge.org/doc/factoids/digitaldata/default.htm).

### 3.4 BATIMETRIA SINGLE BEAM

O ecobatímetro monofeixe, (single beam) é um equipamento que realiza a medição de profundidades a partir da emissão de único pulso acústico. Já o ecobatímetro multifeixe (multibeam), emite inúmeros pulsos acústicos, realizando uma varredura da superfície, o que exige um processamento mais complexo e sofisticado dos dados coletados, mas tendo como resultado uma maior precisão no resultado obtido (Seabeam Instruments, 2000). O single beam apresenta simplicidade no uso, no entendimento e um rápido processamento dos dados coletados nas campanhas. Porém, possui limitações que torna impróprio o seu uso para levantamentos batimétricos em grandes reservatórios, devido à precisão do equipamento (Seabeam Instruments, 2000). O processo de um levantamento batimétrico inclui as seguintes etapas: planejamento prévio das seções batimétricas, levantamento de campo, processamento das informações coletadas no campo e a utilização de softwares na geração de mapas e na obtenção de curvas cota x área x volume (Corrêa Filho et al., 2005). A figura 8 mostra um esquema representativo de um levantamento mono feixe

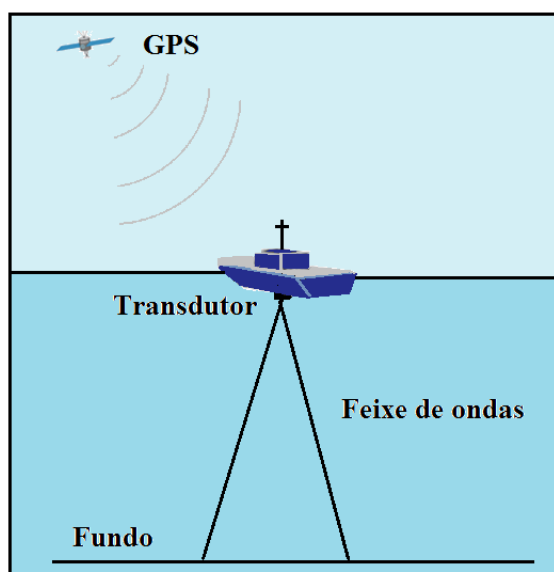


Figura 8: Esquema do levantamento batimétrico utilizando ecobatímetro monofeixe. Autoria : Luiz Henrique Pereira Fontana.

### 3.5 AVALIAÇÃO DE VOLUME

O volume de sedimentos pode ser avaliado por meio de modelos empíricos (BORLAND; MILLER, 1960) ou matemáticos (USACE, 1972; ZHOU; LIN, 1998; CAMPOS, 2001; WU VIEIRA& WANG, 2004 ) No entanto, estes modelos, apesar de muito úteis, só fornecem uma avaliação preliminar do volume de sedimentos depositados, uma vez que a solução precisa do problema é muito complexa e requer informações muitas vezes indisponíveis. O acúmulo de

sedimentos no fundo do reservatório pode ser medido diretamente e com mais precisão a partir de levantamentos batimétricos que atualizam periodicamente as curvas cota x área x volume do reservatório.

#### 4. ÁREA DE ESTUDO

##### 4.1 ÁREA DE DESCARTE

A área de estudo denominada “Ponto F” situa-se na plataforma continental sudeste, a cerca de 20 km (10,8 mn) a sul da barra da Baía de Guanabara ,abrangendo uma área de 4 Km<sup>2</sup> (2km x 2km), com coordenada central dada pela Latitude 23°06′55.00”S e pela Longitude 43°03′50.90. Sua escolha se deu após estudo de dispersão do material dragado, sem que houvesse retorno para as praias. A figura 9 mostra a localização da área de estudo.

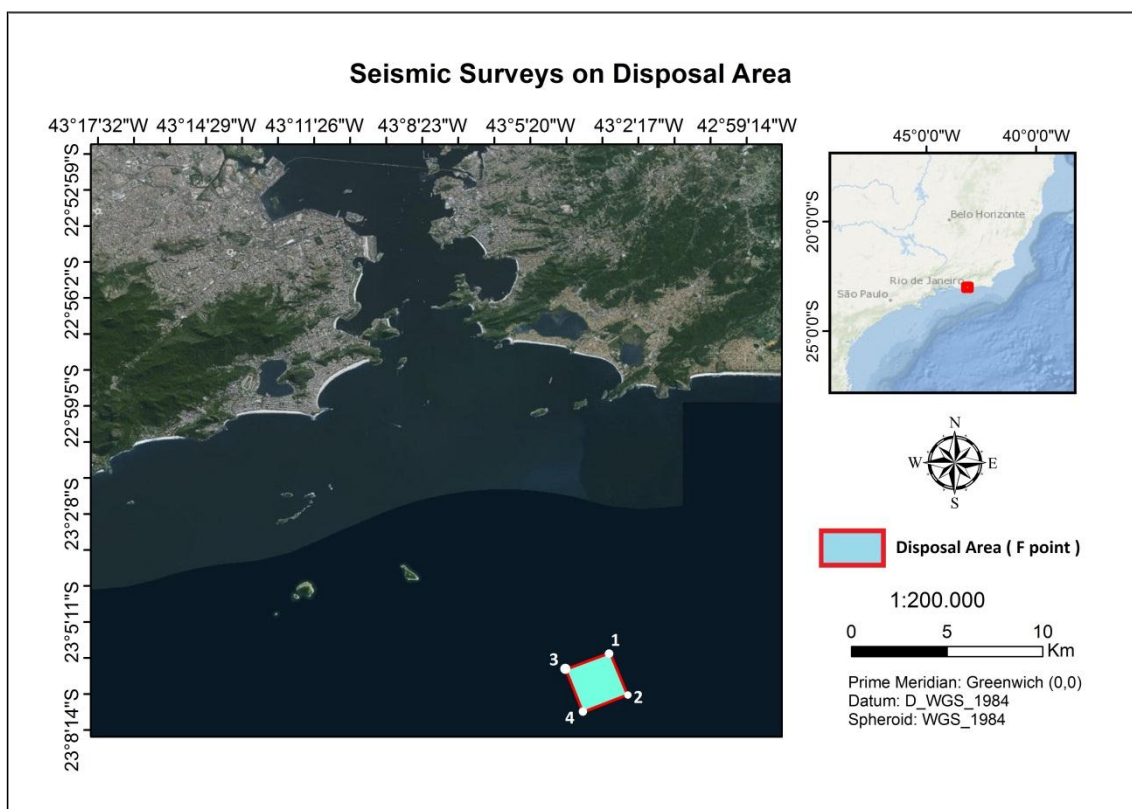


Figura 9: Mapa de localização da área de despejo de material dragado proveniente do Porto do Rio de Janeiro. Produzido no software Arcmap 10.1

##### 4.1.1 A PLATAFORMA CONTINENTAL

A Plataforma Continental estende-se pelas áreas dominadas por processos costeiros (consideradas rasas) aos oceânicos (limite superior do talude). Trata-se de um ambiente complexo, no



qual os regimes climáticos e hidrodinâmicos resultam em uma grande variabilidade em diferentes escalas de espaço e tempo (**Castro Filho, 1996**). A largura da plataforma continental apresenta variações médias entre 100 km e 200 km sendo de 70 km nas proximidades do Rio de Janeiro. A atual quebra da plataforma situa-se próxima à isóbata de 200m, geralmente marcada por uma passagem suave para o talude (**Figueiredo Jr. e Tessler 2004**). Existe um padrão irregular na quebra da plataforma onde é exibido protuberâncias no talude superior, com destaques entre o Cabo Frio e a ilha de São Sebastião. Essas irregularidades, possivelmente estão associadas à ação de correntes de contorno (**Duarte e Viana, 2007**). Nas proximidades do Ponto de Descarte (área de estudo) a plataforma apresenta um baixo gradiente de inclinação e sofre ações que variam de média a alta energia, afetadas pela passagem de sistemas frontais, principalmente no inverno. Segundo **Alves (1992)** existe influência de micro-maré, onde a onda de maré apresenta maior forçante no sentido transversal à costa.

Segundo **Matsuura (1986)** A plataforma continental Sudeste, está compreendida entre o Cabo Frio ( 23°S) no estado do Rio de Janeiro e Cabo de Santa Marta (28,5°S) em Santa Catarina. É conhecida por apresentar diversas massas de água de origens contrastantes, sendo tropical, subtropical e subantártica. Segundo (**Schmitt et al., 2008, 2016**), o embasamento da margem continental sudeste brasileira caracteriza-se por rochas metamórficas provenientes da orogênese da Ribeira . Esta orogenia profundamente erodida evoluiu do período Neoproterozóico para o Cambriano através de uma sucessão de episódios de acreções e colisões atribuídas aos eventos tectônicos entre as placas (Brasil e a África). ( **Heilbron et al., 2000**).

O quadro morfológico costeiro do estado do Rio de Janeiro está fortemente controlado por um sistema litológico estrutural composto em sua grande maioria por rochas do embasamento cristalino formado na borda da Faixa Móvel Ribeira, esculpidas ao longo de milhões de anos desde a fase de separação continental entre o Brasil e a África (**Fonseca et al. 1994**).

#### **4.1.2 GEOMORFOLOGIA REGIONAL**

Devido a ausência de grandes rios, as planícies costeiras são estreitas especialmente na região entre Santos e Rio de Janeiro. Sistemas estuarinos são desenvolvidos em direção ao sul e no extremo NE do litoral como restingas (Marambaia, Cabo Frio) e (Paranaguá, Santos, Baía de Guanabara). As praias são predominantes na porção mais central, encaixadas entre vales e montanhas pertencentes à Serra do Mar (**Zembruski, 1979; Reis et al. 2013**).As variações do nível relativo do mar possuem papel importante na evolução das planícies costeiras, principalmente durante o Quaternário. A maioria dos estudos sobre o período quaternários da Bacia de Santos concentrou-se na distribuição de

sedimentos superficiais oriundos das variações glácio-eustáticas e na investigação geomorfológica (Zembruski, 1979; Dias et al., 1996; Mahiques et al., 2005).

As variações do nível relativo do mar, principalmente as ocorridas durante o Quaternário superior, levaram ao remodelamento da plataforma continental, com fases de exposição e submersão de extensas áreas (Figura 10). Destes processos, cabe ressaltar o intenso fenômeno de dissecação e posterior submersão da plataforma continental ocorrido durante e após o Último Máximo Glacial (LGM) (Reis et al., 2013).

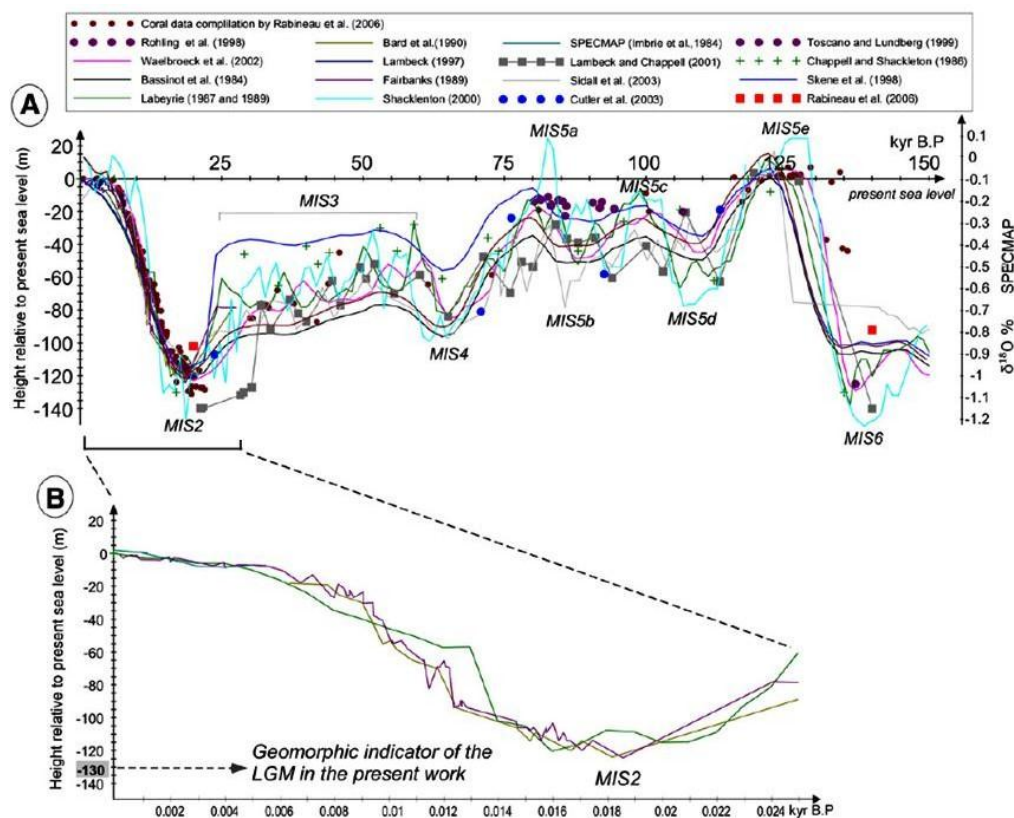


Figura 10 : Compilação das curvas da variação do nível médio do mar baseado na razão isotópica  $\delta^{18}O$  para plataformas continentais (Reis et al. 2013).

De uma forma geral, ocorreu quase uma total exposição da plataforma continental durante o máximo glacial de 18.000 anos A.P., com a linha de costa situada cerca de 130 metros abaixo do nível atual. Após tal evento, o processo de submersão da plataforma apresentou uma fase de estabilização do nível do mar, a 60 metros abaixo do nível atual, ocorrido há cerca de 11.000 anos (Vicalviet al., 1978), além de um máximo transgressivo, ocorrido há cerca de 5.600 anos, no qual o nível do mar esteve a cerca de 4,5 metros acima do nível atual (Angulo et al., 2006). Segundo Suguio e Martin (1978) o recuo do nível do mar após o máximo transgressivo, levou ao desenvolvimento de planícies costeiras,

individualizadas entre as projeções do embasamento cristalino, espalhadas ao longo de quase todo o litoral sudeste do Brasil.

**Zembruski (1979)** descreve um modelo deposicional para os depósitos de lama e areias transgressivas, onde as areias transgressivas foram sobrepostas por lamas da plataforma à medida do aumento do nível do mar qual submeteu o ambiente de deposição a uma baixa energia. Por fim, as lamas, oriundas da plataforma, teriam sido depositadas na fase ao término da transgressão, onde o mar se encontrava estacionário. Segundo **Southard e Stanley (1976)**. O padrão de deposição não teria ocorrido na plataforma externa deixando descobertas as areias e biodetritos. Essa diferença no padrão ocorre devido à alta energia qual é característica da borda da plataforma e à retenção dos sedimentos finos em ambientes lagunares e estuarinos costeiros. A figura 11 apresenta o mapa granulométrico da distribuição de sedimentos.

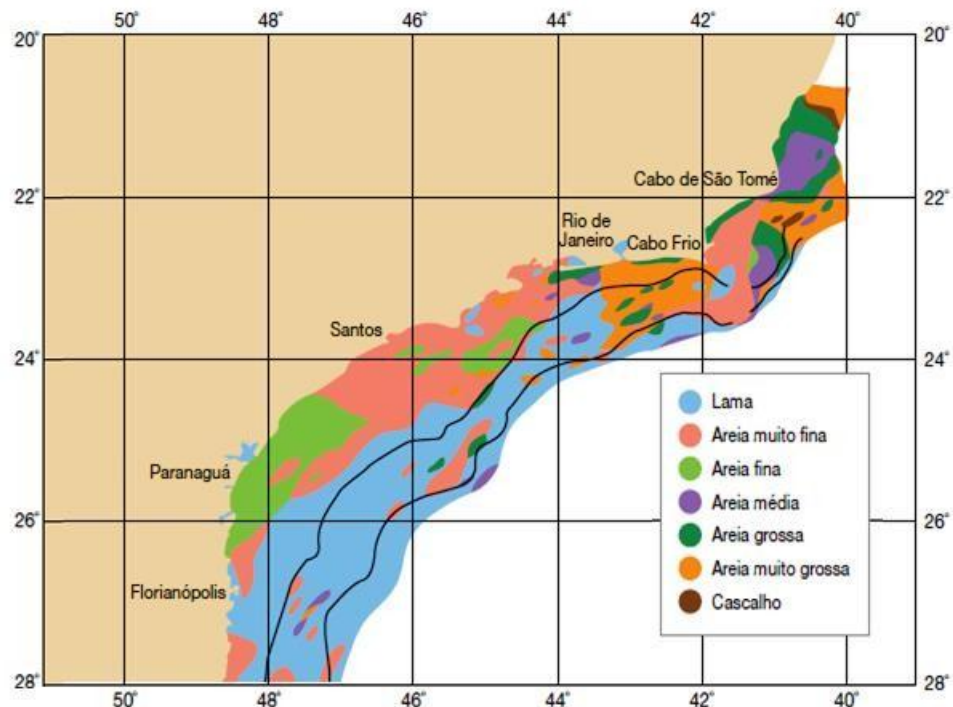


Figura 11 : Mapa granulométrico da distribuição de sedimentos na Bacia de Santos (modificado Figueiredo Jr e Tessler, 2004).

Dentre as feições ao entorno da região de descarte de material dragado, destacam-se as praias litorâneas e ilhas da cidade do Rio de Janeiro e do município Niterói, que formam uma diversidade paisagística, e situam-se relativamente próximas da região em estudo. Segundo **Muehe e Valentinni (1998)** essa zona costeira adjacente está sob o domínio do macrocompartimento de Cordões Litorâneos, que compreende o litoral entre a ilha de Marambaia e o Cabo Frio. Esta faixa litorânea é marcada principalmente pela presença de cordões litorâneos orientados para direção sul, onde 7 foram formados nas últimas transgressões marinhas quaternárias. Outro fator importante é a ausência de descargas fluviais na linha de costa ao longo deste compartimento, sugerindo que a maior parte dos

sedimentos continentais seja depositada no interior das lagunas e baía. Os cordões litorâneos mais próximos às áreas de despejo são as praias de Piratininga, Camboinhas, Itaipu e Itacoatiara e formam uma sequência de arcos de praias com orientação aproximada de NO-SE.

Eventos de alta energia atuam com frequência nos arcos de praias citados anteriormente, gerando ondas de tempestades (swell) de direção SW e SE de até 4 metros, formadas durante a migração de frentes frias. A morfodinâmica local apresenta alto grau de variabilidade no estoque sedimentar, que é submetida a condições oceanográficas mais severas, como por exemplo, episódios de ressacas. A granulometria dos arcos de praia varia entre areias médias a muito grossas, enfatizando a tendência de praias refletivas, com elevado gradiente da face de praia (Gonçalves ; 2013) ,( Dias; 2000) elaborou uma carta sedimentológica da cobertura sedimentar superficial da plataforma e talude continental da região costeira adjacente à Baía de Guanabara (Figura 12). Segundo os dados obtidos, as áreas de despejo englobam três tipos sedimentares: areias finas, lamas e areias quartzosas e areia quartzosa média.

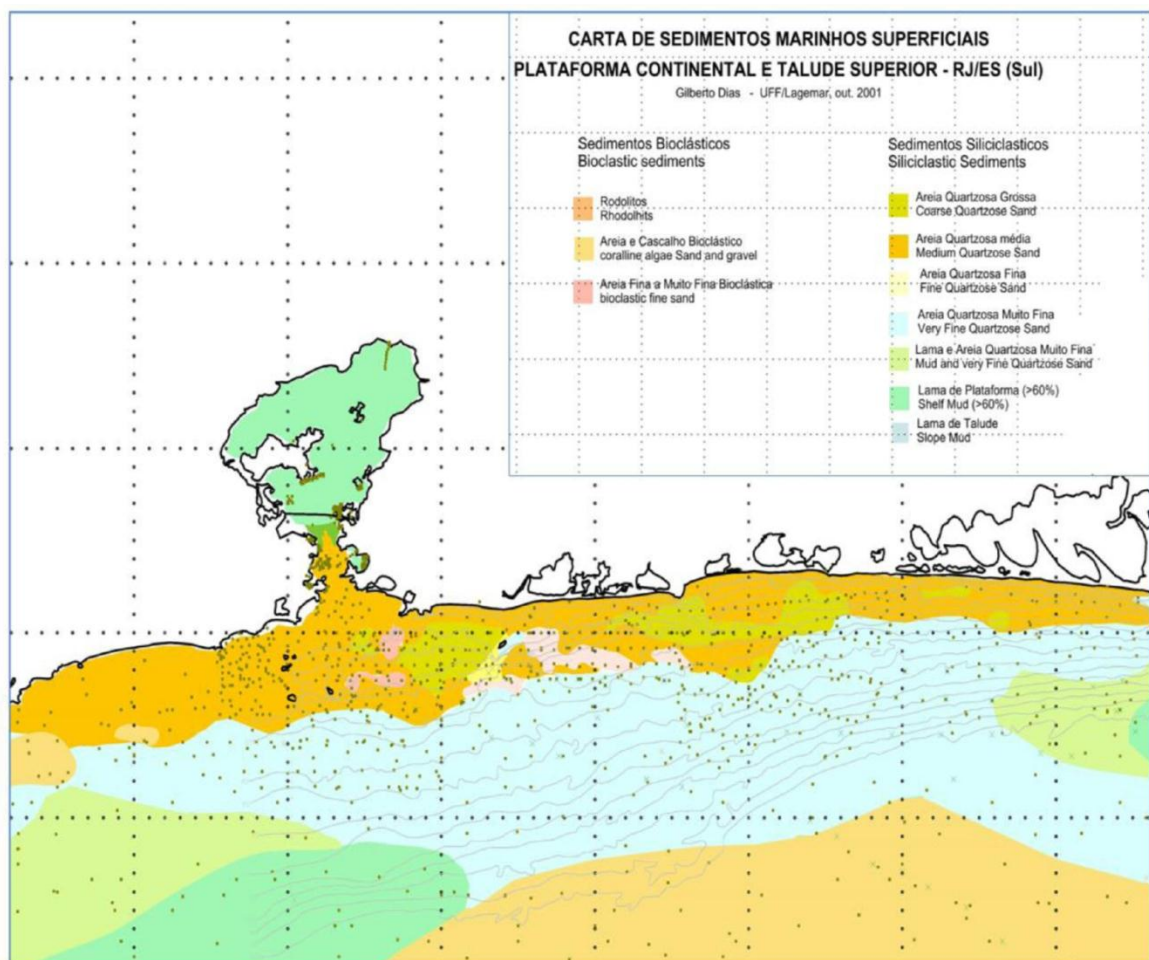


Figura 12: Carta sedimentológica da plataforma e talude entre RJ e ES. (Dias 2000.)Modificado

### 4.1.3 ESTRATIGRAFIA DA PLATAFORMA (PLEISTOCENO MÉDIO SUPERIOR).

Maia et al. (2010) propuseram pela primeira vez uma estrutura estratigráfica Plioceno-Quaternária para a plataforma continental ao largo do sul do RJ, com base em uma análise combinada de registros sísmicos adquiridos no início dos anos 80. A estrutura é composta principalmente de unidades sísmicas clinoformais empilhadas representando até oito grandes sequências sísmicas limitadas por inconformidades angulares. De acordo com sua arquitetura interna e a geometria das clinoformas reconhecidas, as sequências sísmicas foram agrupadas em dois conjuntos estratigráficos distintos identificados como: Conjunto 1 (SqA – SqC) e Conjunto 2 (Sq1-Sq5) quais são as mais relevantes para um maior conhecimento da

Os refletores Sq1 a Sq5 são erosivos e frequentemente mostram superfícies escalonadas. Eles truncam as sequências sísmicas subjacentes Sq1 a Sq4, como mostrado por muitas terminações de toplap. Superfícies S2, S3 e S4 ligam sequências de extensão updip limitada. As três superfícies fundem-se em direção a terra com a superfície S1 para se tornarem superfícies erosivas em toda a plataforma. Cada um destes horizontes sísmicos é interpretado como um limite de sequência principal, representando um período diacrônico de erosão desde os tempos mais profundos das baixas do nível do mar, isto é, quando a exposição da plataforma era mais extensa. Estas superfícies foram retrabalhadas durante os tempos subsequentes do aumento do nível do mar. A figura 13 apresenta a estratigrafia de sequencias da Plataforma Sudeste.

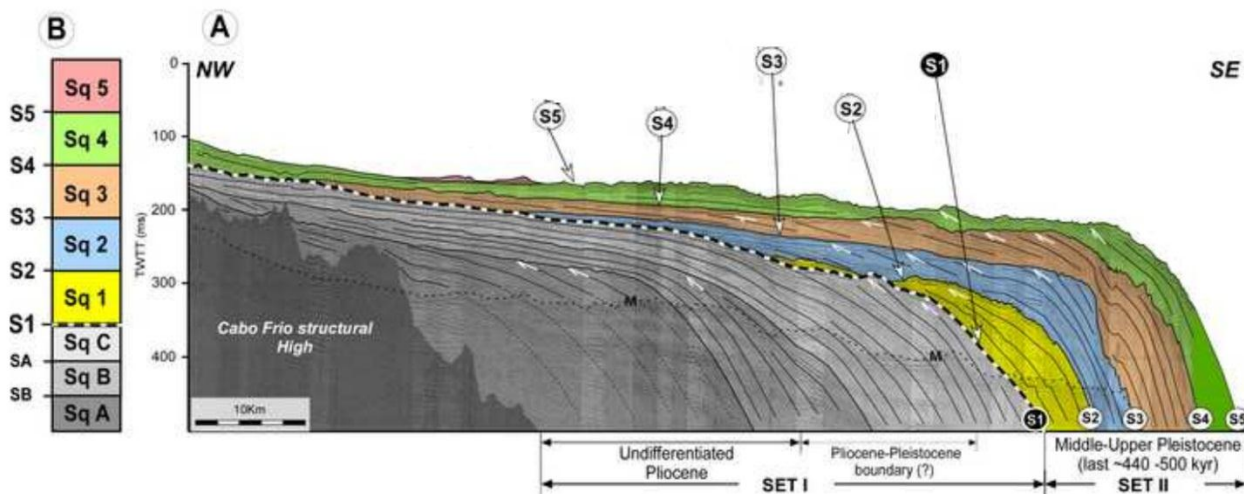


Figura 13: Estratigrafia da Plataforma Sudeste. Extraído e modificado de Maia et al., 2010

#### 4.1.4 CIRCULAÇÃO

A circulação atuante na área de estudo é composta pelas:

- Corrente de Contorno Profunda (CCP)
- Corrente de Contorno Intermediária (CCI)
- Corrente do Brasil (CB)

Considerada rasa, quente e de alta salinidade, a Corrente do Brasil (CB)(Figura 14) está enquadrada como corrente de contorno oeste de superfície, que flui em direção ao sul, fechando o Giro Subtropical do Atlântico Sul. É constituída pela AT (Água tropical) e ACAS (Água Central do Atlântico Sul), fluindo junto à quebra da plataforma. Ao sul da Bacia de Santos, a CB apresenta extensão vertical de mais de 500 m e 100 km de largura podendo atingir velocidades máximas de  $0,59 \text{ ms}^{-1}$ (Evans e Signorini, 1985; Stramma e England 1999).

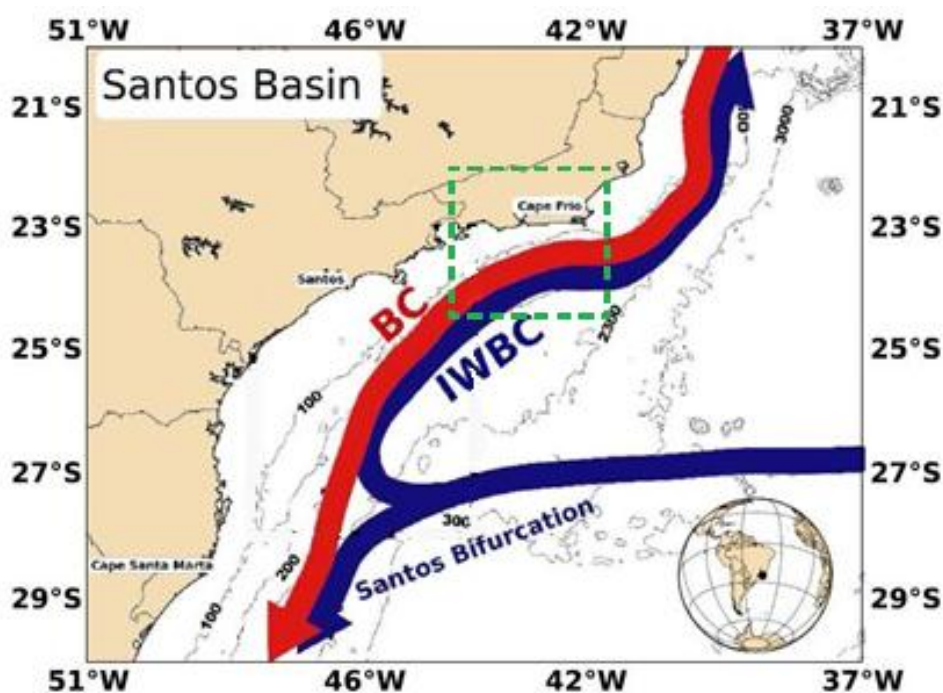


Figura 14: Esquema do padrão de circulação da Corrente do Brasil (BC - vermelho) e da Corrente de Contorno Intermediária (IWBC - Azul) (Biló et al. 2014) (Modificada).

Os vórtices anticiclônicos se formam pela Corrente do Brasil (CB) ao largo do Cabo Frio já foram descritos por diversas vezes na literatura (Garfield, 1990). Mais ao sul, correspondente adentro do Embaiamento de São Paulo, a CB volta a exibir instabilidade no seu comportamento. Nesta região ocorre a formação de ciclones e anticiclones, menores em tamanho que os do Cabo Frio e que, aparentemente, não se desprendem do eixo principal da CB (Campos et al., 1995; 1996). Acredita-se

que os vórtices ciclônicos induzam uma ressurgência de quebra de plataforma, trazendo ACAS para regiões rasas e com prováveis consequências de ressuspensão de sedimentos previamente depositados **(Mahiqueset al. 2005)**. Satélites que oferecem imagens de temperatura da superfície do mar demonstram o padrão sinuoso/vórtice da Corrente do Brasil (CB) na Bacia de Santos (Figura 15). Esta imagem indica a penetração frequente da Corrente do Brasil na plataforma **(Duarte e Viana, 2007)**.

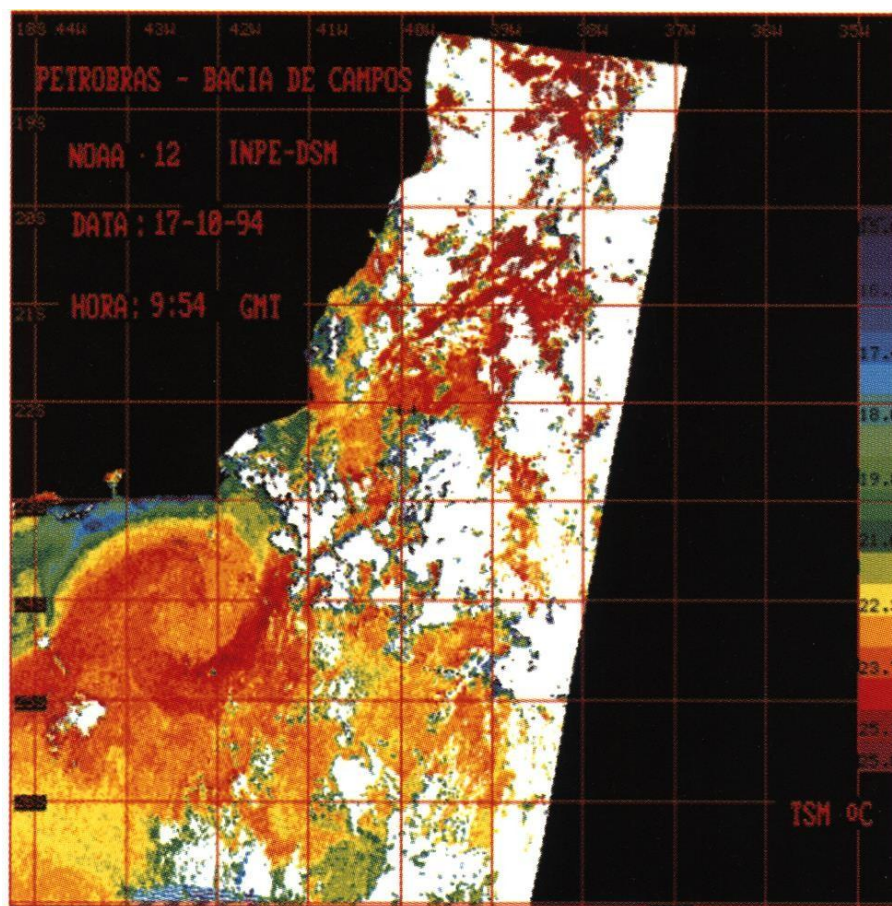


Figura 15: Imagem do satélite (Landsat NOAA-12) ilustrando o meandramento da Corrente do Brasil.

Abaixo da CB, em porções intermediárias do talude continental, desloca-se a CCI(Corrente de Contorno Intermediária). Na Bacia de Santos em latitudes próxima a  $27^{\circ}$  s ocorre a bifurcação da CCI, onde uma parcela flui para nordeste em direção à Bacia de Campos e outra flui para Sul . Analisando ramificação que flui para nordeste na bacia, a CCI possui espessura de até 1000 metros, largura de aproximadamente 60 km, velocidades de aproximadamente  $0.22 \text{ ms}^{-1}$  (Boebel et al., 1999; Stramma e England, 1999; Biló et al., 2014).

Logo abaixo da CCI, com aproximadamente dois quilômetros de coluna de água, observa-se a Corrente de Contorno Profunda (CCP) fluindo para o sul (Stommel, 1958; Stramma e England, 1999). Segundo Godoi (2005) ocorre o deslocamento da CCP para porções mais interiores da bacia oceânica devido a presença do Platô de São Paulo (Figura 16 ). Assim, pode-se assumir que a área estudada está compreendida entre a plataforma externa e o talude continental sob influencias diretas da CB e CCI. Essas duas correntes possuem um



padrão de escoamento essencialmente baroclínico e marcado por uma única inversão de sentido das correntes

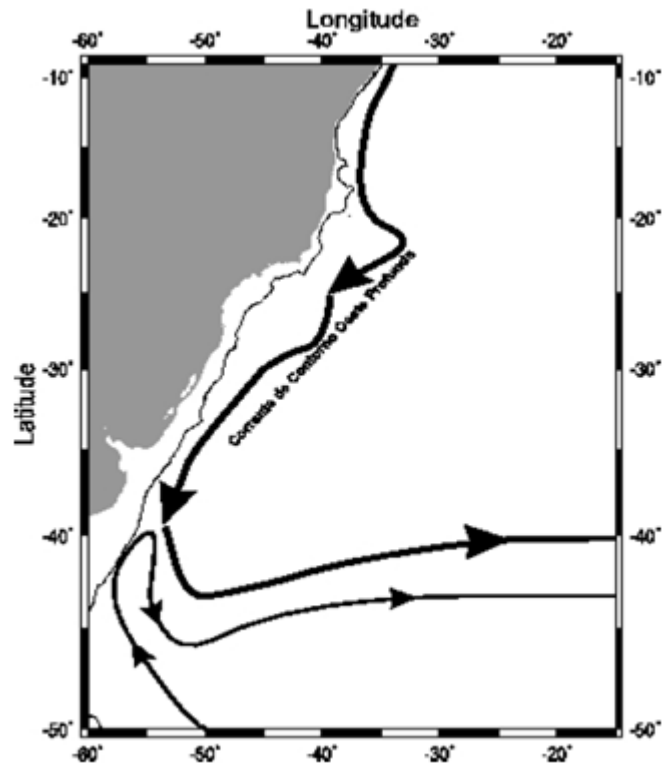


Figura 16: Representação da circulação da CCP (Corrente de Contorno Profundo) nas profundidades 1300 – 3260 m (Stramma e England, 1999).

#### 4.1.5 DIREÇÃO DAS ONDAS LOCAIS

O comportamento das ondas na plataforma é descrito por **Souza (1988)**. As ondas nesta região apresentam direção que variam anualmente de NNE a SE como mostra na figura 17A e indiscriminadamente em relação às estações do ano na figura 17B.

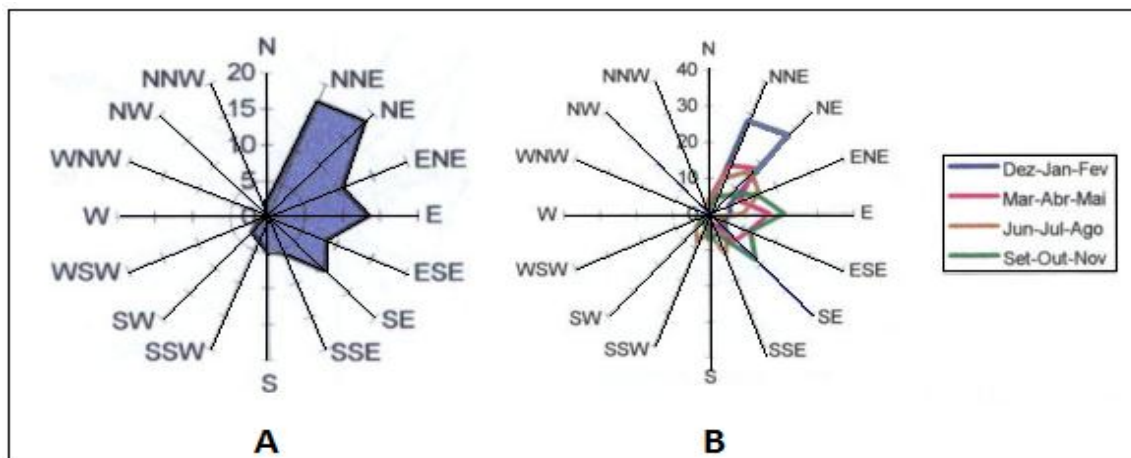


Figura 17 : A - Diagrama mostrando a frequência anual de direção das ondas na plataforma. (Souza, 1988), B - Diagrama mostrando a frequência de direção das ondas nas estações do ano (Souza, 1988).

#### 4.2 CARACTERÍSTICAS ÁREA DE DRAGAGEM (BAÍA DE GUANABARA)

A área dragada encontra-se na Baía de Guanabara no estado do Rio de Janeiro. Segundo **Silveira (1964)** a Baía de Guanabara localiza-se inserida no denominado sistema hidrográfico da Bacia da Guanabara constituindo uma das mais proeminentes baías de toda a costa brasileira. Situa-se na região metropolitana que compreende as cidades de Duque de Caxias, São João de Meriti, Belford Roxo, Nilópolis, São Gonçalo, Magé, Guapimirim, Itaboraí, Tanguá e Niterói. entre as latitudes de 22°40' e 23°00' S e longitudes 43°00' e 43°20' Oeste. Segundo **Kjerfve (1997)**, seu perímetro total é de 131 km, com extensão máxima de 30 km de Norte a Sul e cerca de 28 km de Leste a Oeste. Segundo **Quaresma (1997)** ocorre um estreitamento em sua barra, entre o Forte São João e a Fortaleza Santa Cruz, tendo sua largura restringida a 1,6 km. Segundo **Catanzaro et al. (2002)**, a profundidade média da baía atualmente é de 5,7m, alcançando valor máximo de 58m nas proximidades da seção da entrada. A baía de Guanabara encontra-se sob a influência de um clima quente e úmido. As temperaturas médias anuais são de 23,7° C e as médias de umidade relativa do ar são de 78%, com a precipitação fluvial total anual média superior a 2.000 mm no topo da Serra do Mar e oscilando entre 1.000 e 1.500 mm na Baixada Fluminense (**Amador, 1997**).

A estação chuvosa é bem definida entre dezembro e abril e, a outra, de seca, entre junho e agosto (**Kjerfve et al., 1997**). O tipo de vegetação remanescente, na região da baía de Guanabara é representado pela Floresta Ombrófila Densa (domínio de Mata Atlântica), atualmente localizada em topografia acidentada (encostas das serras), principalmente, e em reservas florestais (**Radambrasil, 1983; Veloso et al., 1991; Kurtz & Araújo, 2000**). Cabe

destacar que as áreas de vegetação de mangue, em 1500, abrangiam quase a totalidade de sua orla. Atualmente, está limitada a uma grande mancha contínua no litoral dos municípios de Magé, Itaboraí, São Gonçalo e a ocorrências esparsas no litoral de Duque de Caxias e na Ilha do Governador (**Amador, 1997**). Sua bacia hidrográfica abrange aproximadamente 4.600 km<sup>2</sup>, com a presença de em torno de 35 rios que desembocam na baía, sendo que os maiores (rios Macacu e Caceribu) nascem na Serra do Mar (**Amador, 1997**). Segundo **Quaresma (1997)**, na estreita barra de entrada da baía de Guanabara, há a presença de um grande banco arenoso, que se eleva desde a profundidade de 20 m até 11 m. Esta feição promove a canalização das correntes e funciona como um obstáculo à livre circulação das correntes de maré. Na topografia de fundo da baía, uma feição que merece destaque é o canal central, de orientação geral N-S, seguindo desde a entrada da barra até próximo à Ilha do Governador. As profundidades mais comuns deste canal estão em torno de 30 e 40 m, sendo que, próximo à Ilha Laje, existe uma depressão que chega a atingir 58 m de profundidade (**Dias & Quaresma, 1996**).

As marés da baía de Guanabara são classificadas como semidiurnas, com um período de cerca de 12,5 h, apresentando diferenças nas alturas da preamar e baixa-mar, cujas amplitudes variam de 1,40 m a 20 cm e com amplitude média de sizígia cerca de 1,20 m (**Amador, 1997**). As oscilações de marés observadas na área originam-se devido à sua conexão com o Oceano Atlântico, repercutindo em oscilações no interior da baía. A propagação da onda de maré para seu interior sofre alterações de fase e de amplitude em função da geometria da baía de Guanabara. A área a dragada (Figura 18) localiza-se junto ao Porto do Rio de Janeiro, na área do canal de acesso, junto ao terminal de contêiner e ao novo terminal de passageiros, da Secretaria Especial de Portos da Presidência da República, Arsenal de Marinha (cais norte e oeste), cais de atracação da escola naval.

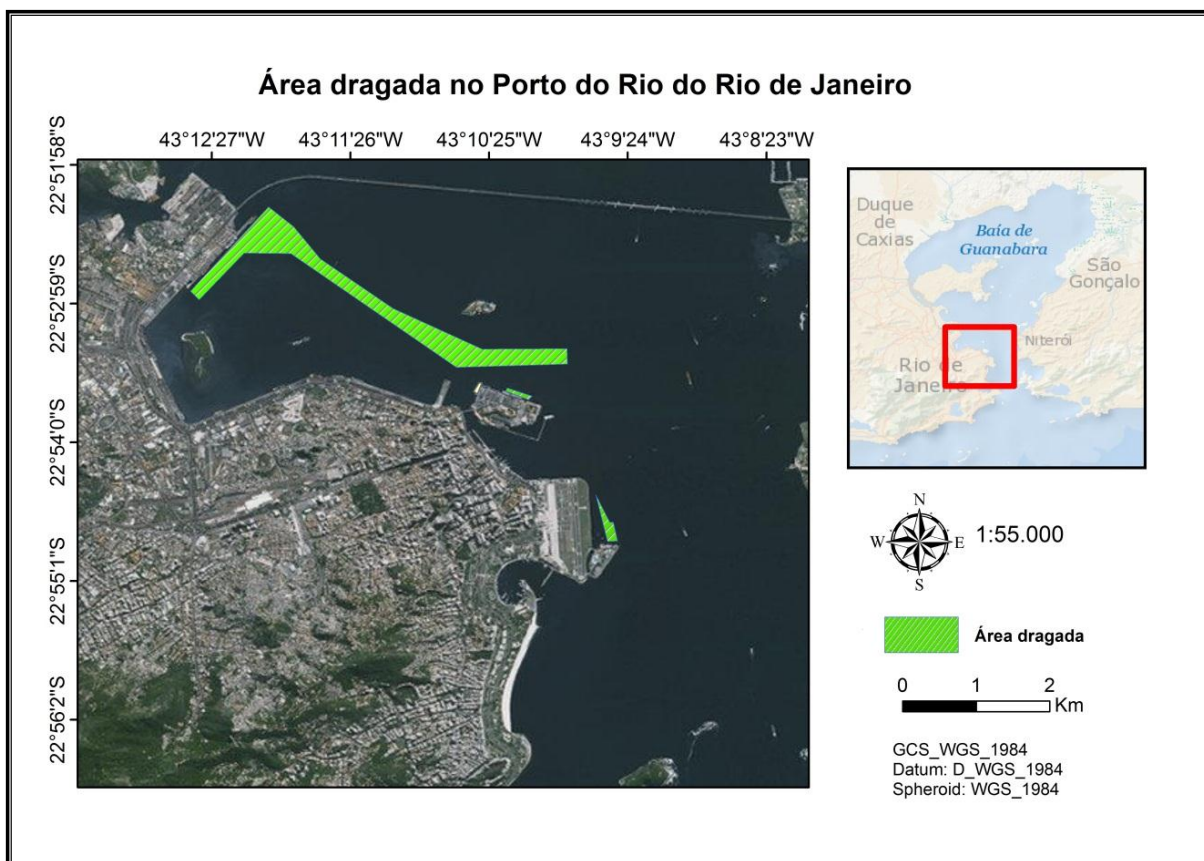


Figura 18 : Mapa de localização das áreas dragadas no Porto do Rio de Janeiro. Produzido no software Arcmap 10.1

#### 4.2.1 ESTUDOS PRÉVIOS DOS SEDIMENTOS NA ÁREA DE DRAGAGEM

Na Baía de Guanabara, os sedimentos não são uniformemente distribuídos, com o predomínio de lama nas áreas da baía interna e areia fina perto da sua entrada (**Baptista-Neto et al., 2006**). Segundo **Abreu I.M.(2016)**, a granulometria dos sedimentos correspondente a área do Porto do Rio de Janeiro é bastante homogênea, com frações de lama (silte + argila) sempre acima de 70%. O tamanho médio de grão variou de **5,07 a 27,5 µm**, correspondendo à classificação de lodo grosseiro. Os valores mais elevados de argila foram encontrados na zona interna da Baía de Guanabara caracterizada por uma energia muito baixa e os valores mais baixos (**Baptista Neto et al., 2006**). Segundo **Abreu I.M. (2016)**, a composição dos sedimentos (figura 19) do porto possuem quase em sua totalidade a presença de areia e silte.

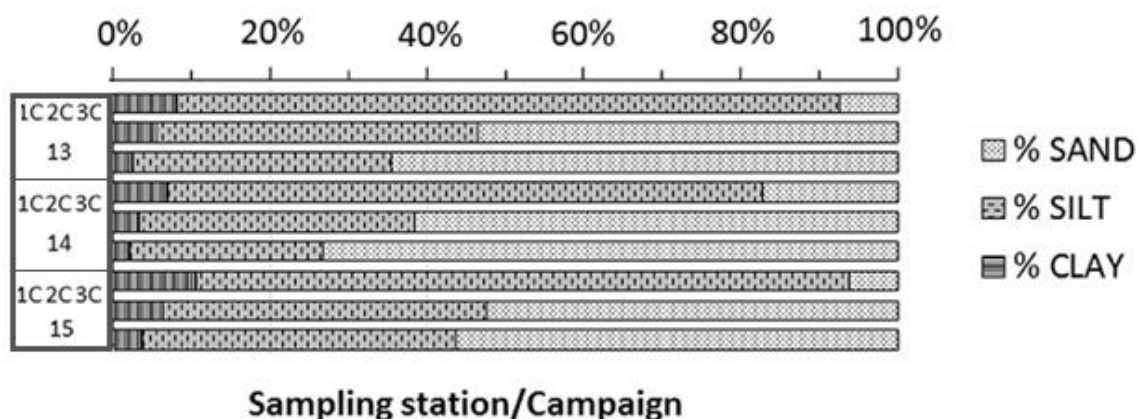


Figura 19 : Composição de sedimentos da Baía de Guanabara. (1C-campanha 1, 2C-campanha 2, 3C-campanha 3).Extraído e modificado de Abreu I.M. et al (2016)

## 5. - MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 MÉTODOS DIRETOS (COLETA DE TESTEMUNHOS )

Para a avaliação dos sedimentos da área dragada, distribuiu-se de acordo com a legislação vigente, 20 pontos, onde 41 amostras foram coletadas no dia 15/09/2015. As amostras superficiais foram coletadas através de dragado tipo Van Veen. Para a avaliação vertical do pacote sedimentar procurou-se utilizar gravity corer. As condições de baixo calado, porém, e de textura do solo (grande dureza) obrigaram a execução de testemunhos diretamente com mergulhador, que inseriu manualmente tubos no substrato subaquático. A figura 20 mostra os equipamentos citados.

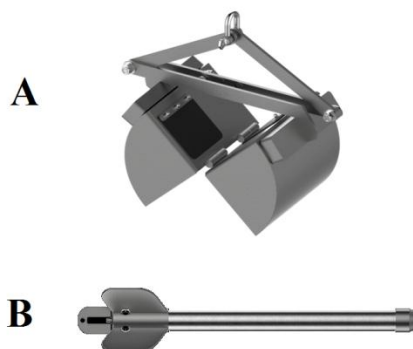


Figura 20: Draga Van Vem (A) e Gravity Corer (B) extraída de [https:// aratu.net](https://aratu.net)

A estratégia de coleta das amostras de sedimentos se encontra exposta na Figura 21 e a figura 22 mostra a relação da quantidade de amostras em cada ponto e que metodologia foi utilizada.

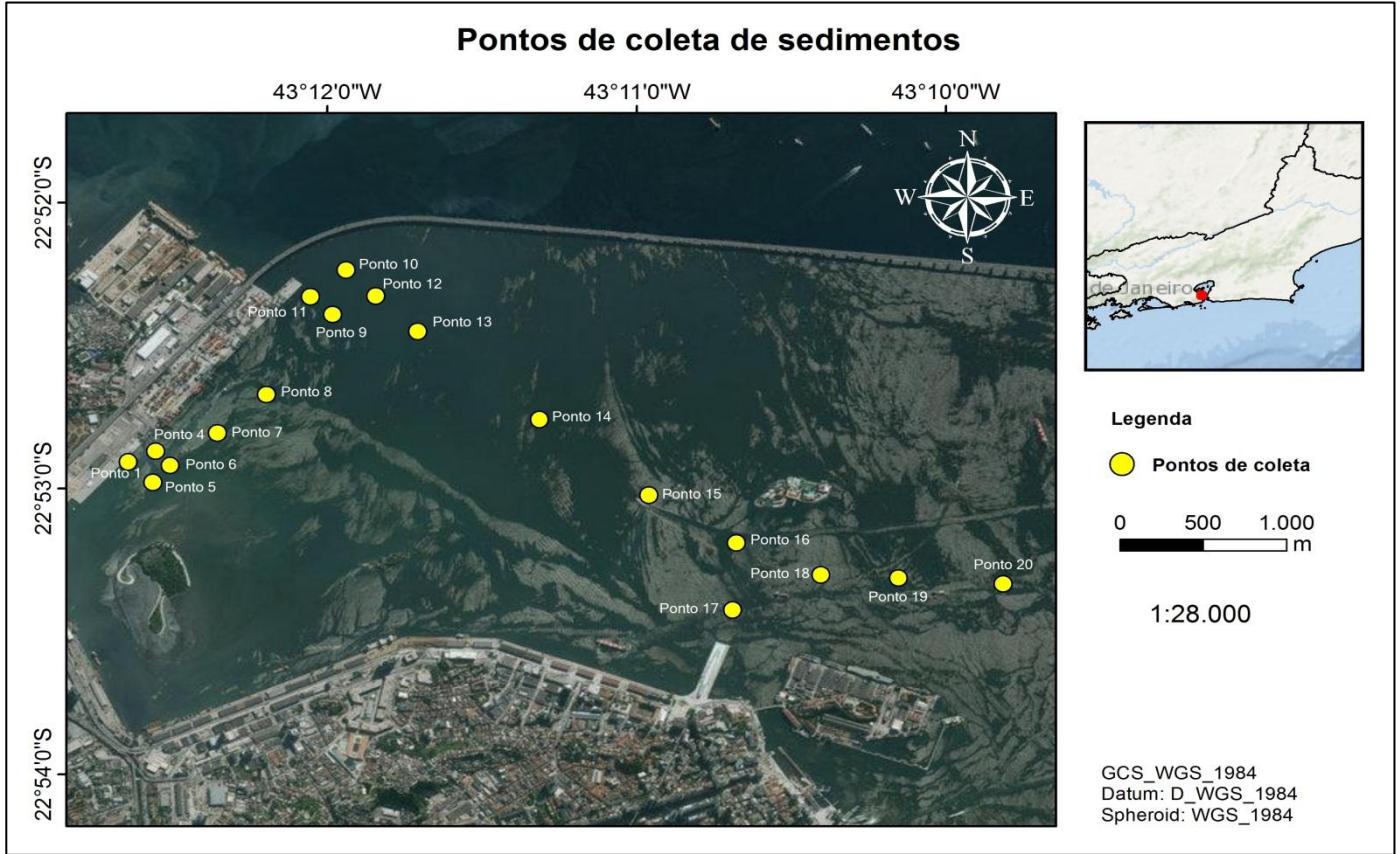


Figura 21: Pontos de caracterização do pacote sedimentar. Fonte : Arcmap 10.1

	Metodologia	Quantidade Amostras		Metodologia	Quantidade Amostras
<b>Ponto 1</b>	Van veen	1	<b>Ponto 11</b>	Van Veen	1
<b>Ponto 2</b>	Corer	4	<b>Ponto 12</b>	Corer	4
<b>Ponto 3</b>	Van Veen	1	<b>Ponto 13</b>	Corer	4
<b>Ponto 4</b>	Van Veen	1	<b>Ponto 14</b>	Van Veen	1
<b>Ponto 5</b>	Van Veen	1	<b>Ponto 15</b>	Van Veen	1
<b>Ponto 6</b>	Corer	4	<b>Ponto 16</b>	Van Veen	1
<b>Ponto 7</b>	Van Veen	1	<b>Ponto 17</b>	Corer	4
<b>Ponto 8</b>	Corer	4	<b>Ponto 18</b>	Van Veen	1
<b>Ponto 9</b>	Corer	4	<b>Ponto 19</b>	Van Veen	1
<b>Ponto 10</b>	Van Veen	1	<b>Ponto 20</b>	Van Veen	1
<b>Total Amostras</b>	41				

Figura 22: Tabela com método de coleta empregado na caracterização do pacote sedimentar.

Após serem coletadas, acondicionadas em sacos, refrigeradas e levadas diretamente ao laboratório, obtiveram-se resultados referentes a granulometria do sedimento que seria despejado no ponto F. As figura 23 e 24mostram as amostras referentes aos pontos de coleta.

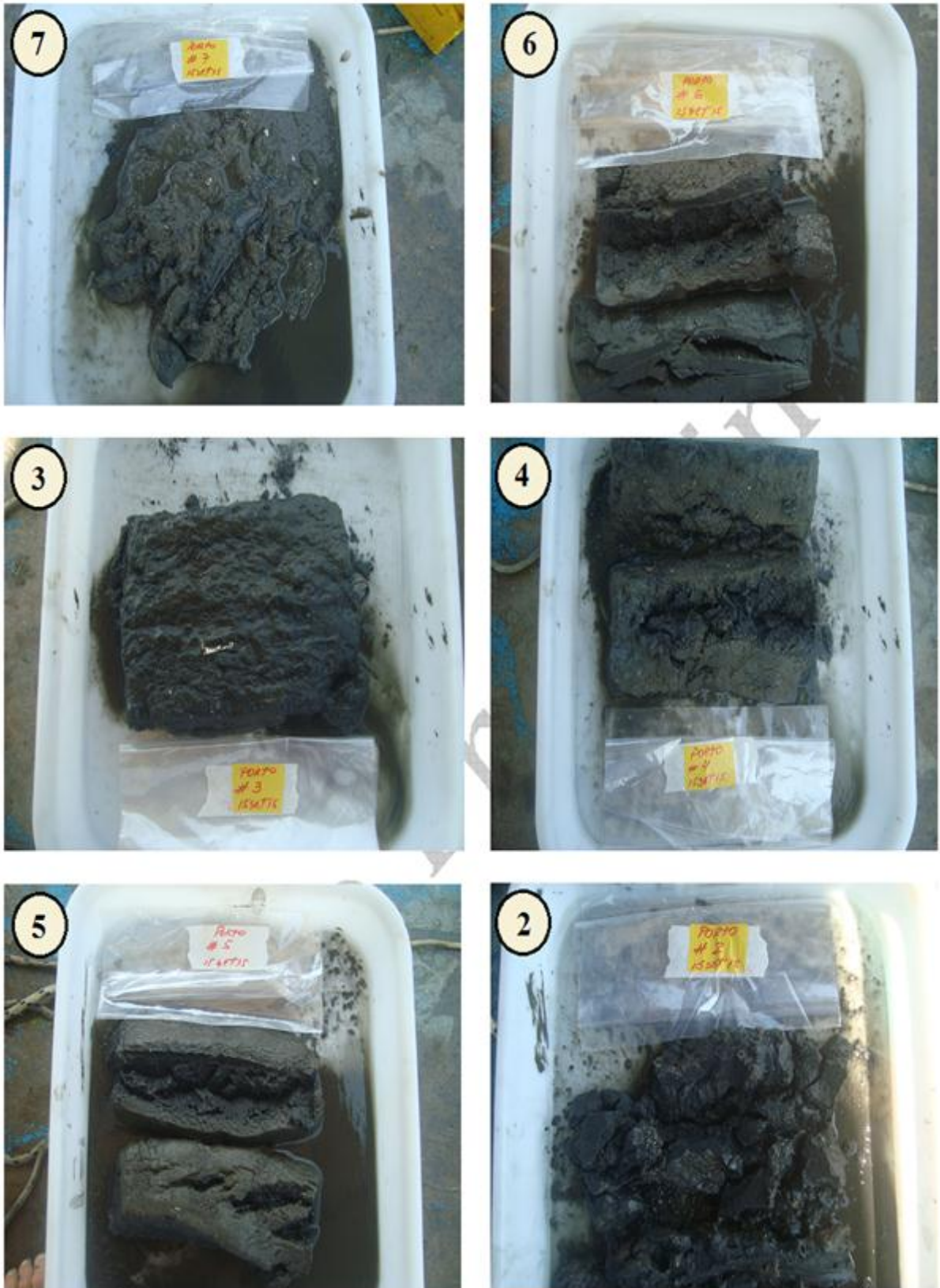


Figura 23: Amostra de sedimentos(2 a 7).



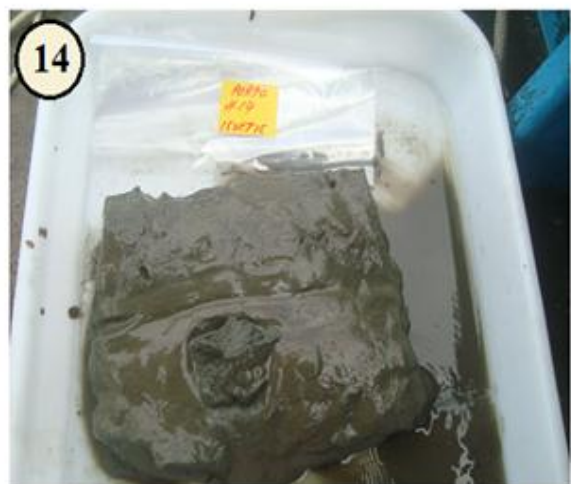


Figura 24 : Amostra de sedimentos (14 e 16 a 20 )

## 5.2 MÉTODOS ACÚSTICOS

As linhas de sondagem foram planejadas previamente de forma a permitir uma cobertura eficiente da área (figura 25). A navegação foi realizada no software Hypack, sendo que a disposição das linhas de navegação contou com o arranjo de 24 linhas espaçadas de 100 m entre elas. Toda a navegação contou com o sistema de localização DGPS Novatel.

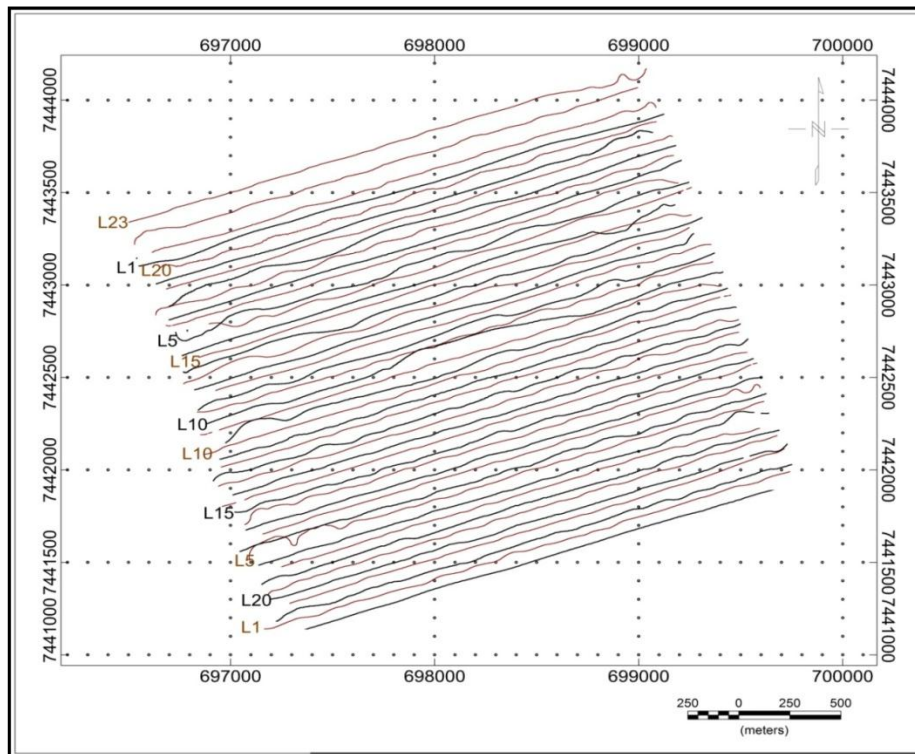


Figura 25: Linhas navegadas nas campanhas de 2015 (preto) e 2017 (marrom).

### 5.2.1 ECOBATIMETRIA

Para a aquisição dos dados batimétricos foi utilizado o Ecobatímetro OHMEX Sonar Mite (figura 26) posicionado a 4 metros da antena GPS ( figura 29 ) durante a aquisição onde posteriormente os dados XYZ foram processados no software Surfer 11. Para geração do grid batimétrico, o método de interpolação empregado para gerar mapas e superfícies foi o de Triangulação com Interpolação linear. Existem vários métodos de triangulação. No entanto, o método aqui empregado utiliza da “triangulação de Delaunay” e possui a propriedade de produzir triângulos o mais próximos de equiláteros quanto possível, e apresentando um bom comportamento na interpolação numérica (Miranda, 2005).



Figura 26: Ecobatímetro OHMEX Sonar Mite. Fonte <http://water-solutions.biz/technology>.

Segundo **Lira (2011)** Este método é considerado de estimativa direto, pois, os contornos por ele gerados derivam diretamente dos dados amostrados. Uma consequência desta característica é que nos métodos de triangulação não permitem a extrapolação dos dados para fora do domínio das estações amostradas. A alta dependência dos pontos amostrados faz com que os resultados gerados pela triangulação, a partir de uma malha de pontos pouco densa, não seja tão efetiva. Um fator positivo deste método está ligado à possibilidade de acomodar as descontinuidades naturais. A figura 27 mostra a densidade amostral de profundidades, evidenciando que os resultados finais gerados não teriam sua qualidade prejudicada pelo método de gridagem.

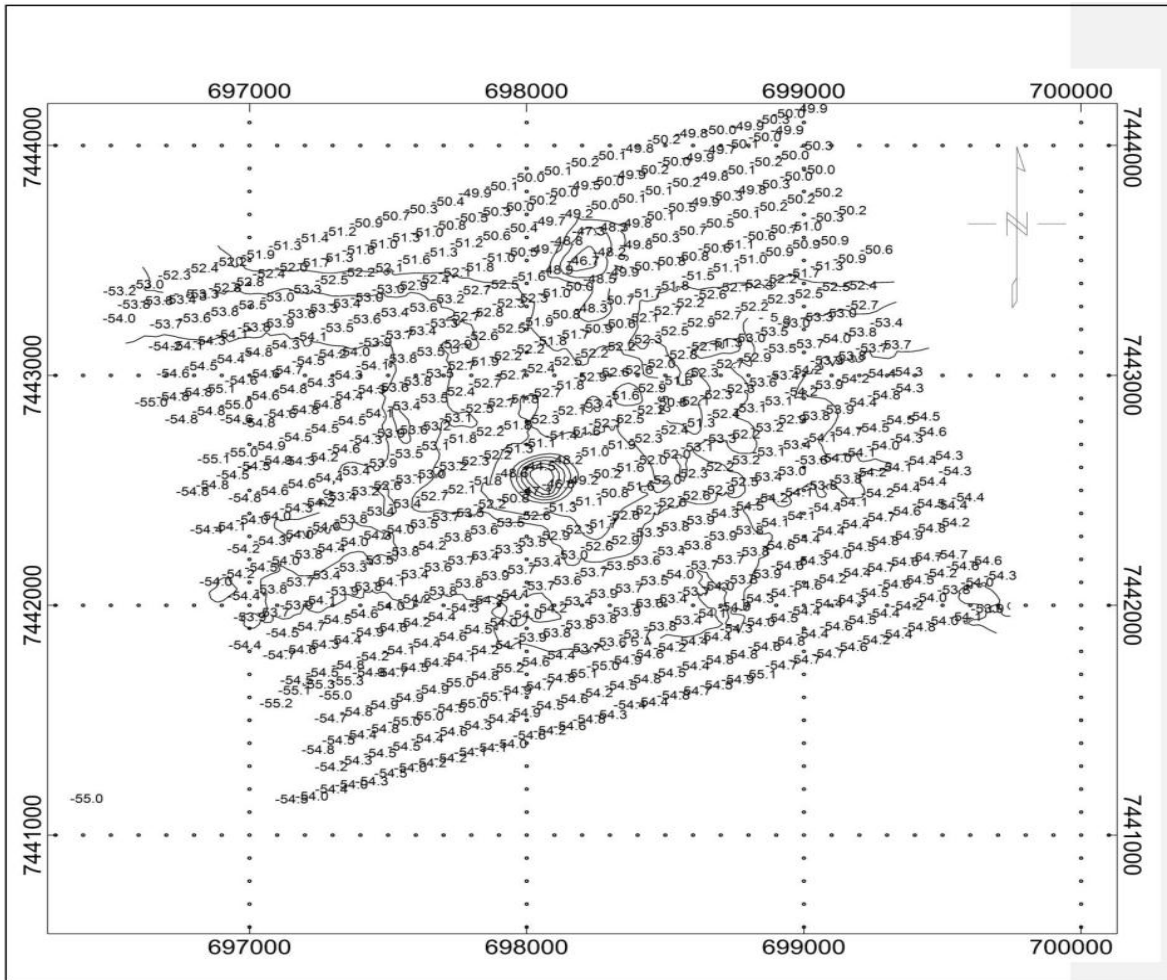


Figura 27: Mapa de isóbatas e valores numéricos das profundidades referentes ao levantamento batimétrico de 29 de junho de 2017.

Conhecendo a velocidade de propagação do som na água e a distância entre o transdutor e a superfície da água, a profundidade do local pode ser calculada a partir da medição do tempo percorrido pelo pulso (USACE, 2002). Esta profundidade pode ser expressa pela seguinte equação:

$$D = \frac{1}{2} (V \cdot t) + k + dr$$

Em que:

D = distância corrigida a partir da superfície da água como referência;

V = média da velocidade do som na água;

t = tempo médio decorrido da onda desde transdutor até o leito e de volta ao transdutor;

k = constante índice do sistema;

dr = distância do transdutor até a superfície da água de referência, distância conhecida como draft

### 5.2.2 SIDESCAN SONAR

O levantamento sonográfico foi realizado simultaneamente ao batimétrico utilizando o sonar de varredura lateral EdgeTech 4100 com sensor (towfish) 272-TD ( figura 28 )com frequência de aquisição de 100 KHZ rebocado a 4 metros da embarcação e 7 metros da antena GPS ( figura 29 ) da embarcação. Seus dados posteriormente foram processados no Software Coda, para a construção de seu mosaico sonográfico.



Figura 28: Exemplo de Side Scan Sonar utilizado em campanha. Fonte : Edgetech-4100-Side-Scan-Sonar-System1

### 5.2.3 SÍSMICA

O levantamento sísmico para imageamento de subsuperfície foi realizado com o sistema Chirp (EdgeTech 3100 sub bottom profiler) com frequência de aquisição de 2 kHz à 10 kHz. Posteriormente, seus dados foram processados no software do sistema de aquisição e processamento (Discover – EdgeTech) e no Software gratuito Seismic Unix para melhor resolução do imageamento das camadas sedimentares subjacentes . A figura 29 mostra o esquema representativo de aquisição Chirp

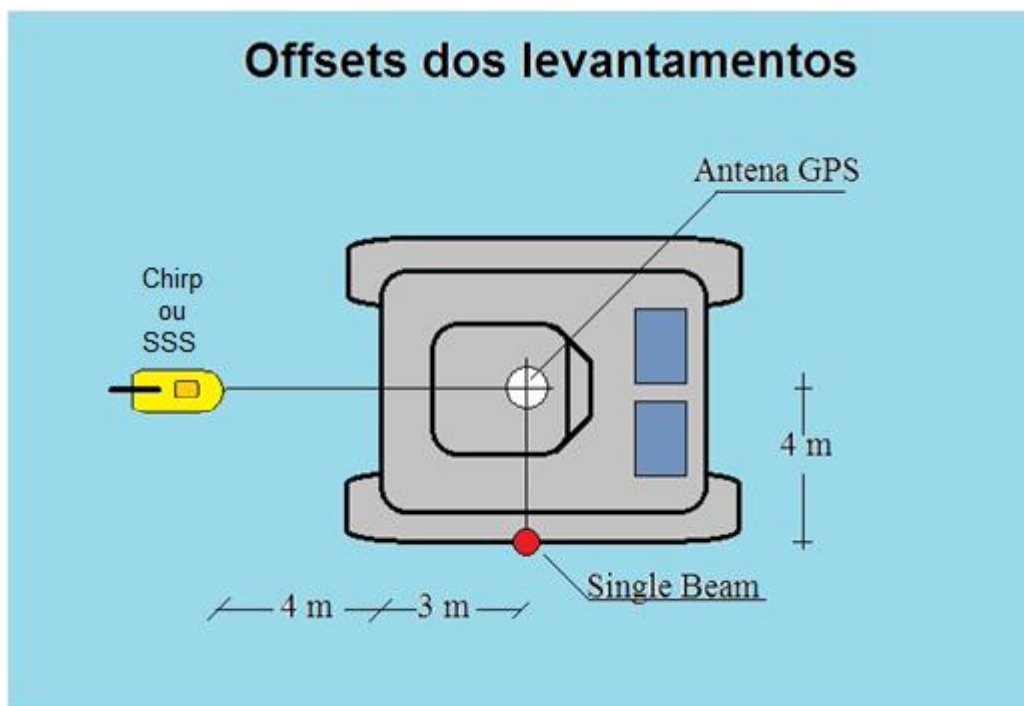


Figura 29 : Esquema de levantamento sísmico( Perfilagem de subfundo ) realizado em 26/05/2017 .  
 Fonte : Luiz Henrique Fontana.

### 5.3 ESTIMATIVAS DE VOLUME DESPEJADO.

Para o cálculo do volume despejado, o modelo digital de terreno gerado a partir dos dados batimétricos de 2017 foi subtraída do modelo de 2016 através da ferramenta Grid/Math do software Surfer 11. A superfície resultante representa o volume de sedimentos depositados no ponto F. Adotando-se como referencial o plano de profundidade  $Z = 0,5$  o volume calculado acima deste referencial (Positive Volume [CUT.]) representa o volume dragado.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Um estudo integrado dos diferentes métodos possibilitou evidenciar a evolução morfológica no decorrer dos sucessivos episódios de dragagem, na área que foi utilizada para despejo de rejeito de dragagem.

### 6.1 Amostras de Sedimentos

A tabela 1 de granulometria apresenta os resultados obtidos na aquisição de testemunhos. Os resultados em análise laboratorial consideraram como fração mais eletrostaticamente reativa a soma das frações silte e argila ( $< 0,0625\text{mm}$ ) mostrando a

predominância de partículas finas em quase totalidade das amostras. Segundo **Quaresma et al. (2000)** e **Kjerfve et al. (1997)** e seus estudos da sedimentação da Baía de Guanabara, a presença de partículas finas em seus sedimentos deve-se a um produto de um regime hidrodinâmico mais baixo somado a presença de vegetação de mangue, que atua como um filtro que permite apenas a entrada de sedimentos mais finos na baía.

Estação	Percentual de Finos (Silte + Argila)
#01	91,3
#02 superfície	35,5
#02 (1m)	40,1
#02 (2m)	92,9
#02 (3m)	70,6
#03	35,8
#04	19,7
#05	66,7
#06 superfície	50,8
#06 (1m)	69,2
#06 (2m)	86,9
#06 (3m)	88,7
#07	24,9
#08 superfície	61,3
#8 (1m)	56,4
#8 (2m)	84,9
#8 (3m)	61,5
#09 superfície	79,1
#09 (1m)	6,1
#09 (2m)	6,4
#09 (3m)	73,4
#10	85,5
#11	39,9
#12 superfície	73,5
#12 (1m)	84,8
#12 (2m)	87,7
#12 (3m)	80,5
#13 superfície	64,3
#13 (1m)	55,6
#13 (2m)	22,7
#13 (3m)	25,6
#14	55,6
#15	20,0
#16	27,9
#17 superfície	38,3
#17 (1m)	96,1
#17 (2m)	61,1
#17 (3m)	64,8
#18	36,4
#19	16,6
#20	59,0

Tabela 1: Percentual de finos ( Silte + Argila )

A parte oeste da baía de Guanabara apresenta sedimentos continentais substanciais e esta área mostra-se altamente influenciada por atividades antropogênicas (por exemplo:

lançamento de esgoto, canalização de rios e desmatamento para ocupação urbana). Tais influências são observadas nas amostras coletadas quais se apresentaram significativamente heterogêneas entre si, evidenciando um ambiente com um histórico de deposição e remobilização sedimentar caótico e complexo. A granulometria corrobora com as análises de **Abreu I.M. (2016)**, onde as frações de lama (silte + argila) apresentaram-se sempre acima de 70%. **Catanzaro et al., 2002** corroboram com este padrão confirmando uma predominância de silte na área de estudos (Figura 30).

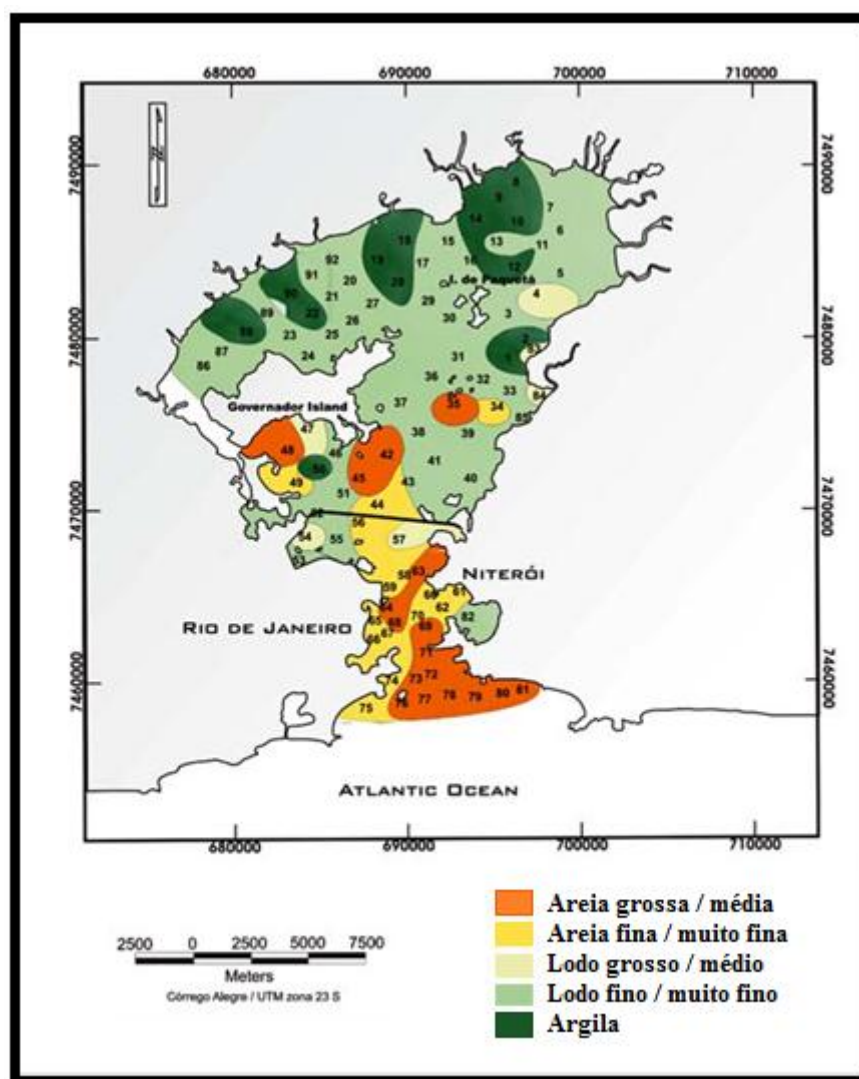


Figura 30: Mapa de distribuição da granulometria dos sedimentos superficiais da Baía de Guanabara.

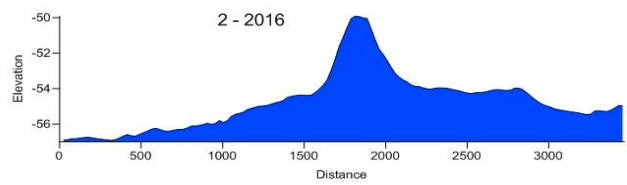
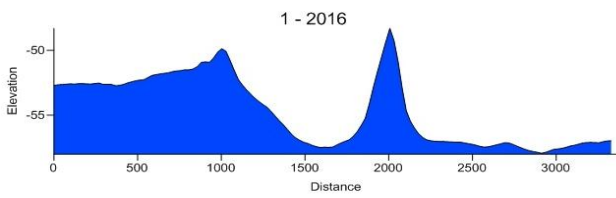
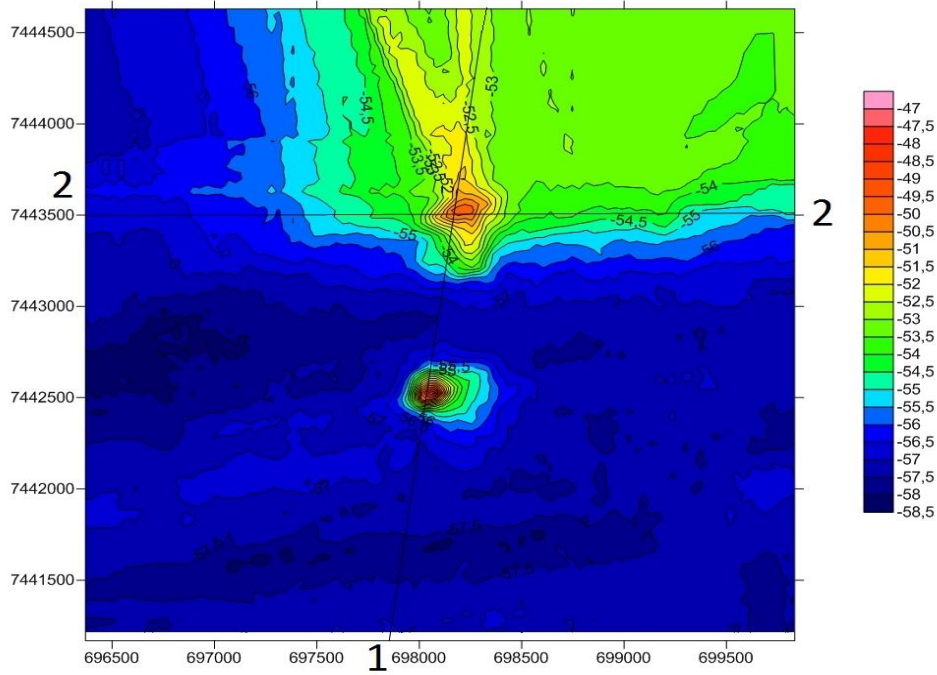
## 6.2 Batimetria (Single Beam)

A comparação entre os dados batimétricos obtidos na campanha de abril de 2016 com a batimetria realizada em junho de 2017 (Figura 31) permite mostrar variações significativas



# 2016

1



# 2017

1

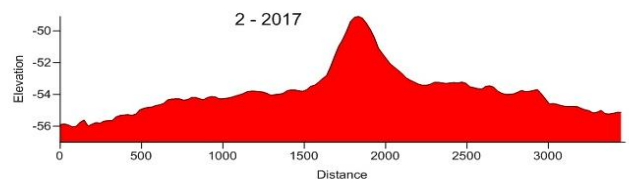
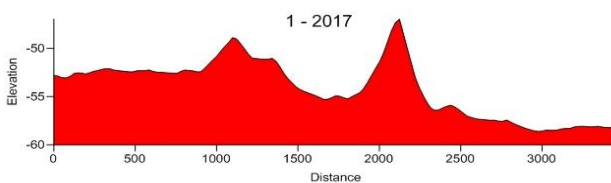
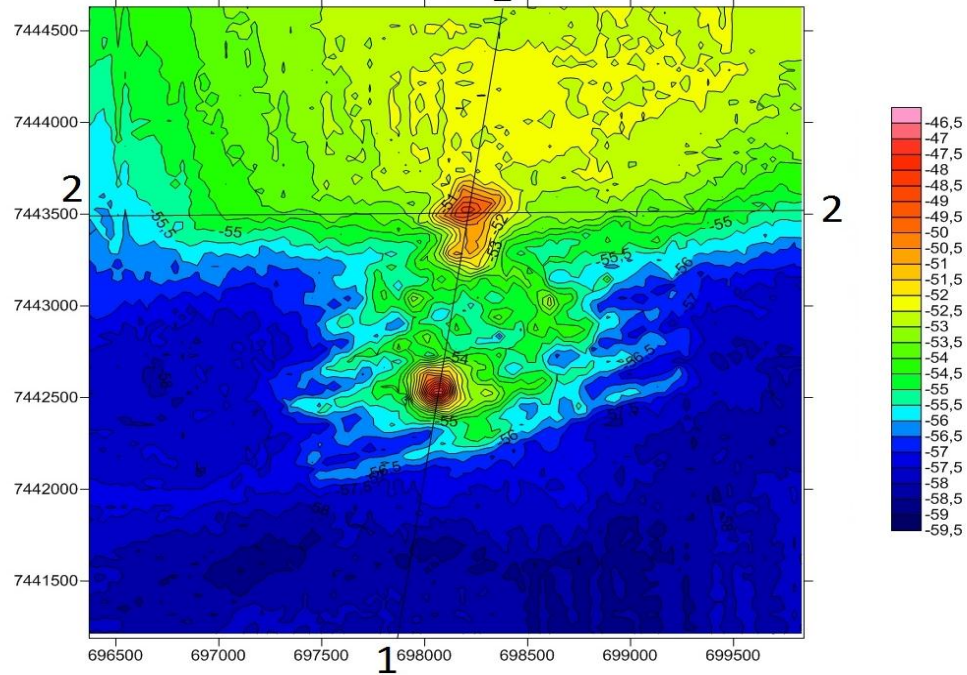


Figura 31: Mapa batimétrico de abril de 2016 e junho de 2017

De acordo como mapa batimétrico de 2016, a área é caracterizada morfológicamente por uma região mais rasa no canto NE, com profundidades menores do que 54 m, limitada por um talude de orientação E-W com um gradiente da ordem de 5°. Nas proximidades do ponto central de despejo observa-se uma elevação bem definida de forma circular e com relevo relativo em torno de 8m. Este levantamento evidencia variações de profundidade entre -58.5 (mais fundo) para -47.5 (mais raso). Com o levantamento realizado em 2017, nota-se que a parte norte da área sofreu assoreamento médio de 3,5 m resultado da deposição do material dragado. Esta elevação tornou-se uma espécie de “ponte” ligando área norte e a área central.. Uma outra boa forma de análise nas mudanças da morfologia do local pode ser feita através dos perfis batimétricos traçados em ambos os mapas onde uma melhor comparação entre presente e passado é feita. A figura 32 apresenta uma análise dos perfis batimétricos de 2016 e 2017 localizados nos mapas da figura 31.

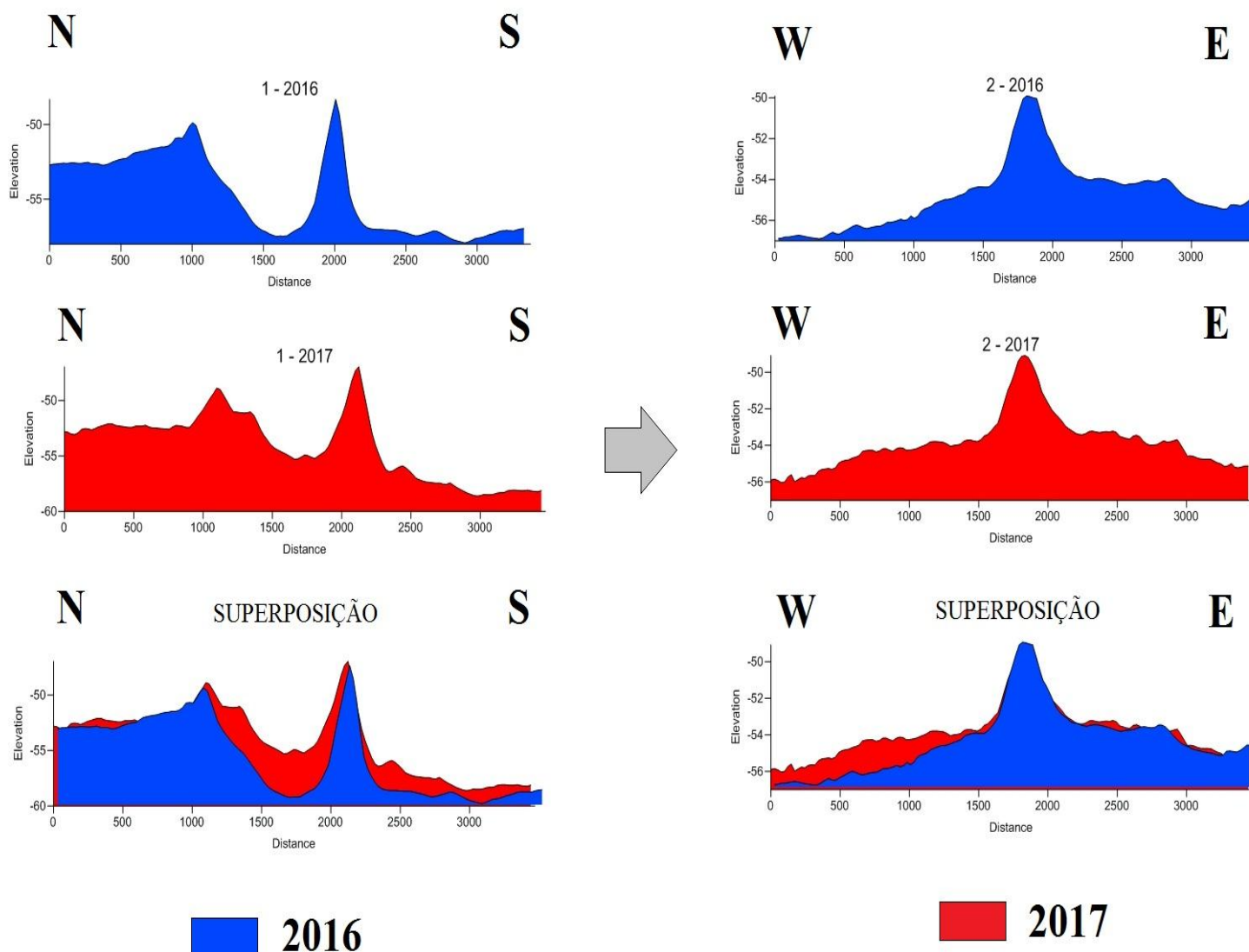
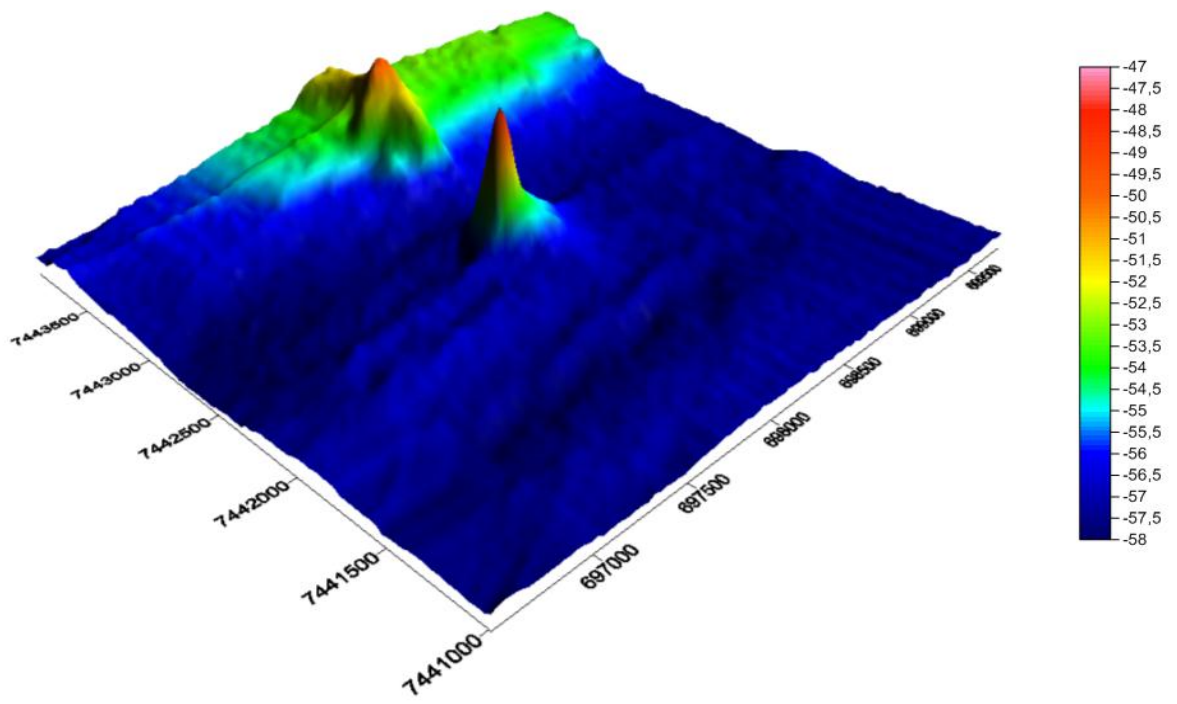
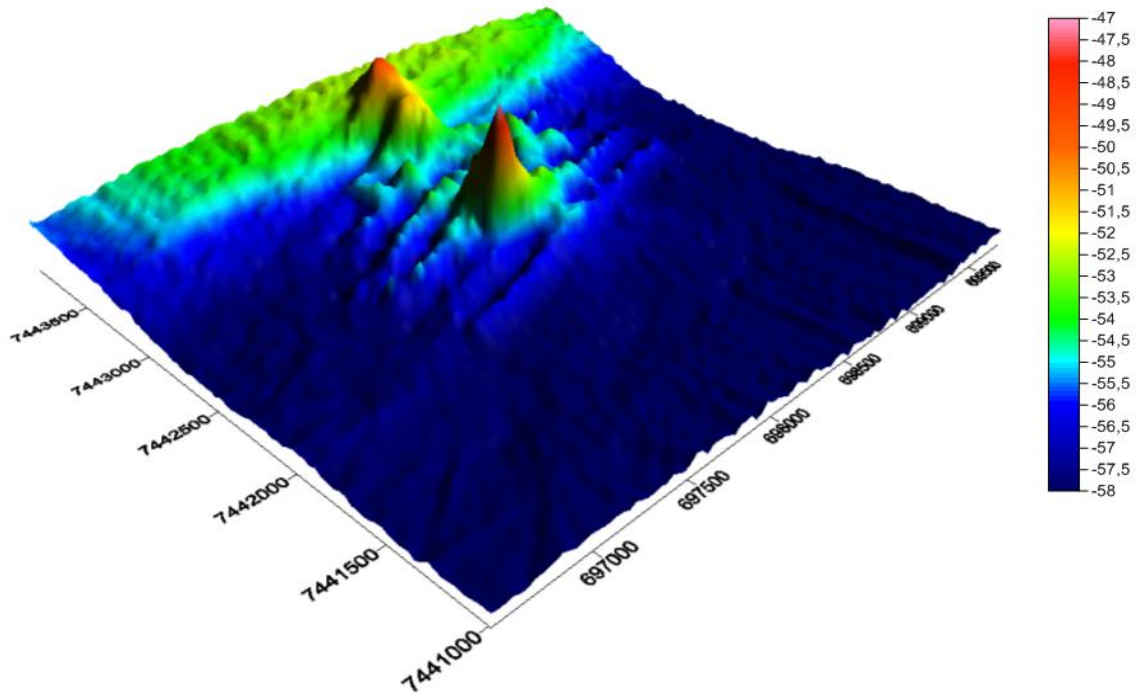


Figura 32: Mapas apresentando a morfologia do fundo marinho e as mudanças mais significativas ocorridas depois da dragagem em 2017.

Analisando os perfis nota-se que o levantamento de 2016, evidencia o relevo de antigos despejos de dragagens. O ponto central de despejo qual é cruzado pelo perfil 1 apresenta relevo bem definido e acentuado e as feições naturais cortadas pelo perfil 2 apresentam feições suaves. Os perfis de 2017 mostram que houve um acréscimo sedimentar na parte norte da área onde seus topos se tornaram mais arredondados e no perfil 2 evidencia agora uma superfície com mais mudanças topográficas. Através da construção de modelos digitais de terreno, uma ampla visualização pode ser feita para notar a diferença do fundo marinho antes e após as dragagens. A figura 33 apresenta estas visualizações onde ambas estão sujeitas a mesma escala de cores.



**2016**



**2017**

Figura 33: Modelo digital de terreno da batimetria realizada em Junho de 2017 e 2016.

Segundo (ODEC, 1993; LEAL NETO, 2000; PORTO & TEIXEIRA, 2002; TORRES, 2000), um dos fatores que consistem em impactos por obra de dragagem é a alteração das condições do local de lançamento do material dragado. Através da análise integrada da batimetria, mosaicos sonográficos e perfis sísmicos do ponto F, tornou-se possível avaliar diferentes e mudanças que configuram este tipo de impactos. A batimetria mostrou que através dois grandes altos encontram-se na área após os despejos de lama proveniente da Baía de Guanabara. O primeiro situa-se na porção Norte e o segundo na parte central da área de estudo. Comparando-se as duas superfícies batimétricas resultados das duas campanhas, observa-se que parte norte da área sofreu uma deposição de material dragado criando-se acréscimos sedimentares de aproximadamente 3,0 a 3,5 m de sedimento. A área central passa a ter uma ligação com a área norte do ponto F. Em geral as análises comparativas mostraram que o mapa batimétrico de 2017 apresentou variações de profundidade com cotas superiores ao mapa de 2016.

### 6.3 Cálculo de Volume

Com base na batimetria, pode-se estimar o acréscimo de um volume sedimentar de **3.941.602 m<sup>3</sup>** através do relatório de volume do mapa de resíduos. A figura 34 mostra o relatório de volumes do software.

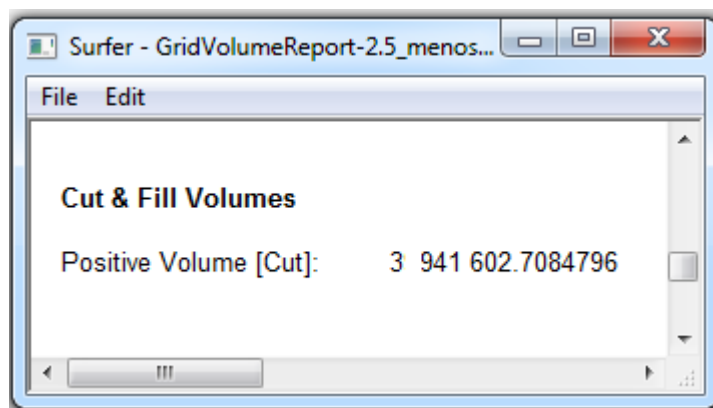


Figura 34: Relatório de volumes obtido com o software.

Com base nos relatórios de volume da empresa que realizou a dragagem, vemos que o volume obtido relatado foi de **3.582.277 m<sup>3</sup>** de sedimentos. A diferença foi de aproximadamente **10 %** entre o valor de volume real e o calculado através da utilização de métodos geofísicos. Este valor obtido mostra que a batimetria single beam é um meio razoável para cálculo de volume de sedimentos despejados na área de descarte, evidenciando-

se como uma ótima ferramenta de fiscalização de volume despejado. A figura 35 mostra os modelos digitais de terreno do ponto F onde se pode observar os resíduos obtidos pela subtração dos modelos e que corresponde ao volume calculado.

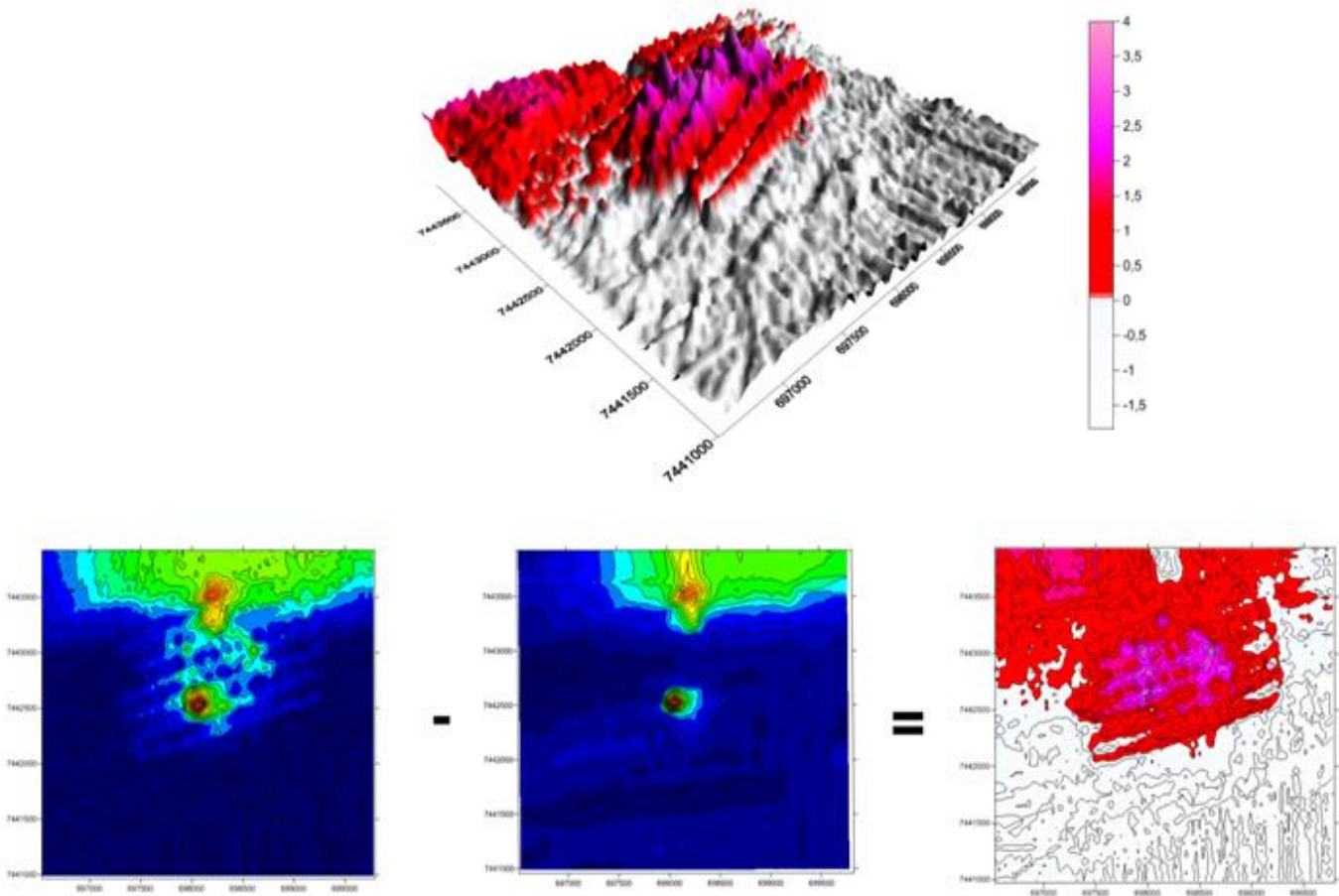


Figura 35: Subtração evidenciando sedimentos depositados e como mudaram as características físicas da área de descarte.

#### 6.4 Dados Sonográficos

A interpretação dos dados sonográficos permitiu identificar dois tipos de fundo:

- Tons de cinza mais claros (menor energia de onde se inferiu a presença de sedimentos lamo-arenosos).
- Tons mais escuros (maior energia de reflexão) indicando maior teor de areias quartzosas.

Os depósitos das dragagens destacam-se por apresentar a parte superior com sinal mais escuro devido a presença de lama compactada e os flancos com padrão cinza claro, evidenciando o sedimento areno-lamoso. O mosaico sonográfico de 2015 evidencia uma área

dominada por padrão de baixa reflexão, com exceção do centro da área. Nesta região observa-se um padrão de maior intensidade de reflexão acústica (backscatter) com lineamentos aproximadamente circulares. (Figura 36).

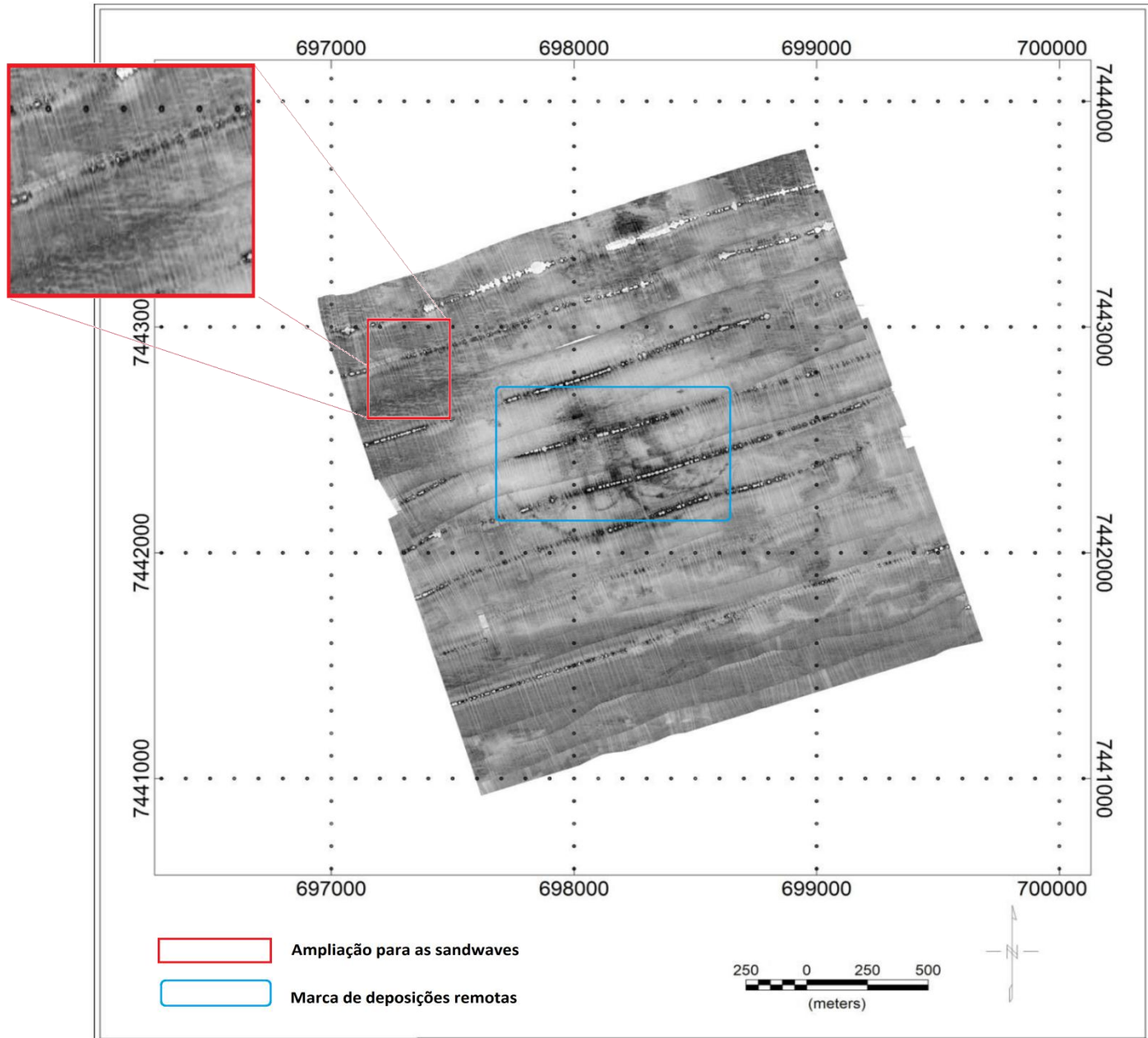


Figura 36 : Mosaico sonográfico relativo ao levantamento realizado em 18/11/2015.

Em abril de 2016, um novo levantamento foi realizado adquirindo dados para identificar mudanças em relação ao ano anterior e analisar o comportamento do transporte de sedimentos cinco meses depois. A figura 37 mostra o mosaico sonográfico relativo ao levantamento realizado em 14/04/2016.

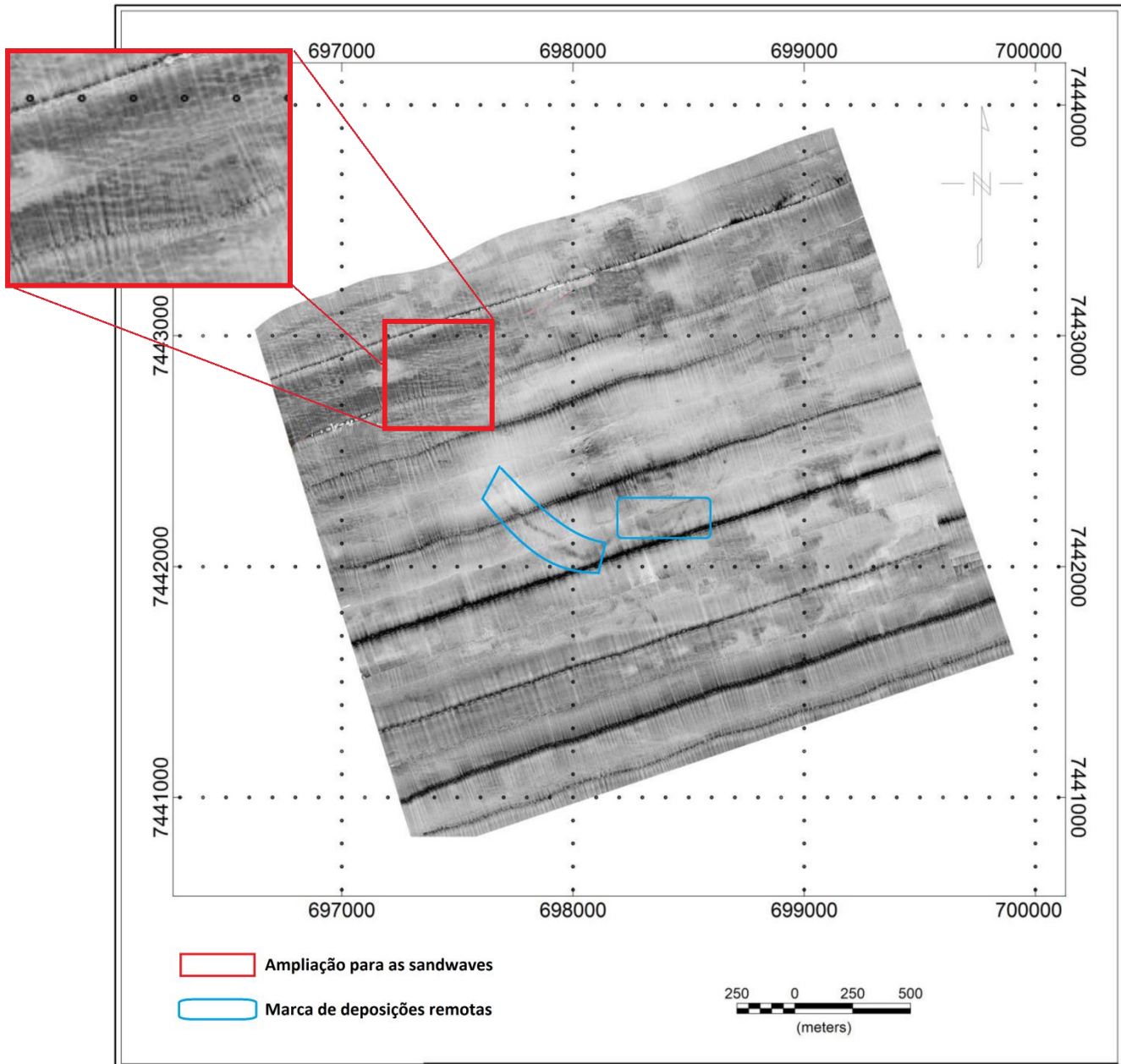


Figura 37: Mosaico sonográfico relativo ao levantamento realizado em 14/04/2016.

Nota-se que, de uma maneira geral, não houve mudança significativa na distribuição superficial dos sedimentos na área do ponto F. Porém pode-se notar uma mudança na área central, onde os depósitos que geram linhas circulares estão menos evidentes, possivelmente pelo transporte de sedimentos causado pelas correntes de fundo. No canto NW da área observam-se a direção marcas de ondas orientadas NW-SE, indicando uma corrente de fundo para sudoeste, coerente com as informações da boia Guanabara 2. Em tons mais escuros nota-se areias quartzosas e lamas compactadas depositadas de forma que as embarcações fizessem trajetórias de maneira circular.. **Não há indícios de despejos de rejeitos nesse intervalo de**



**tempo entre 2015 e 2016.** Alguns setores da superfície do fundo marinho do ponto F ainda apresentam neste levantamento um aspecto natural, destacando-se principalmente a parte WNW do ponto central e no extremo NE da área. Em maio de 2017 o levantamento pós-despejo, evidencia grandes alterações físicas na área de estudo. O mosaico sonográfico evidencia importantes acumulações na área central e em torno da mesma, conforme a figura 38.

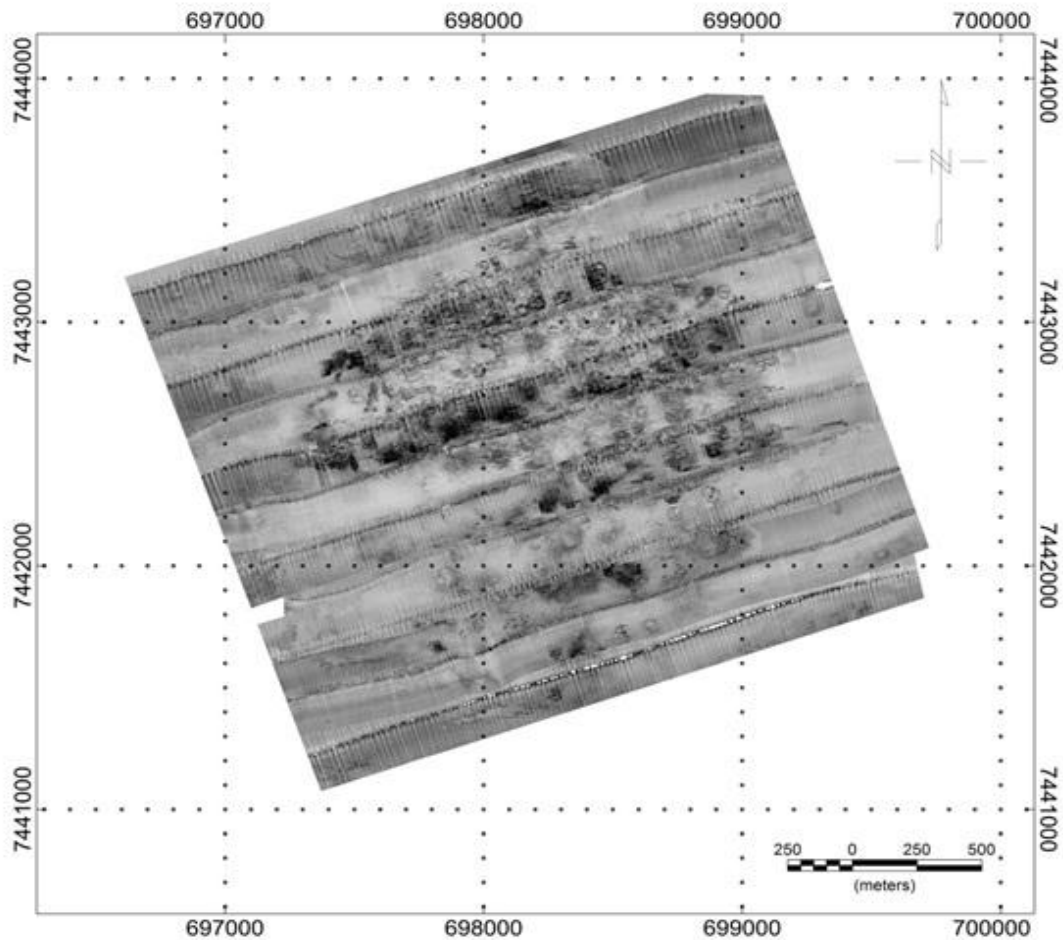


Figura 38: Mosaico sonográfico do levantamento realizado em maio de 2017.

Neste levantamento notam-se marcas de depósitos com alta reflexão difusa, sendo atribuída a brusca sedimentação de blocos de lamas compactadas. Nota-se que estes depósitos ocupam mais de 50% da área mapeada. A figura 39 permite uma boa visualização do tipo de sedimentos que foram dragados e lançados para a área de descarte. O tipo de despejo usado (batelões) é um dos descritos por **Brannon J.M. (1990)**. Nesses sedimentos retirados por dragagem mecânica, pode-se notar um aspecto coeso, onde é reduzido o seu espalhamento

radial na coluna d'água favorecendo a uma a acumulação vertical . Esta acumulação vertical pode ser percebida nos mapas batimétricos e nos modelos digitais de terreno gerados.



Figura 39 : Embarcação Cornelis Lely (Batelão) sendo carregado pela Draga Sinson com lama compactada da Baía de Guanabara.

Através do cruzamento entre os dados batimétricos e sonográficos do levantamento de 2017 (Figuras 31 e 38 respectivamente), podemos notar a correlação entre as áreas de maior refletividade do sinal do Side Scan Sonar com os pontos de maiores altitudes em relação ao fundo marinho. Uma superposição entre sonografia e batimetria, mostra que as áreas de cores mais quentes (mais altas) aparecem associadas às áreas com tons de cinza mais escuro. A figura 40 mostra essa comparação.

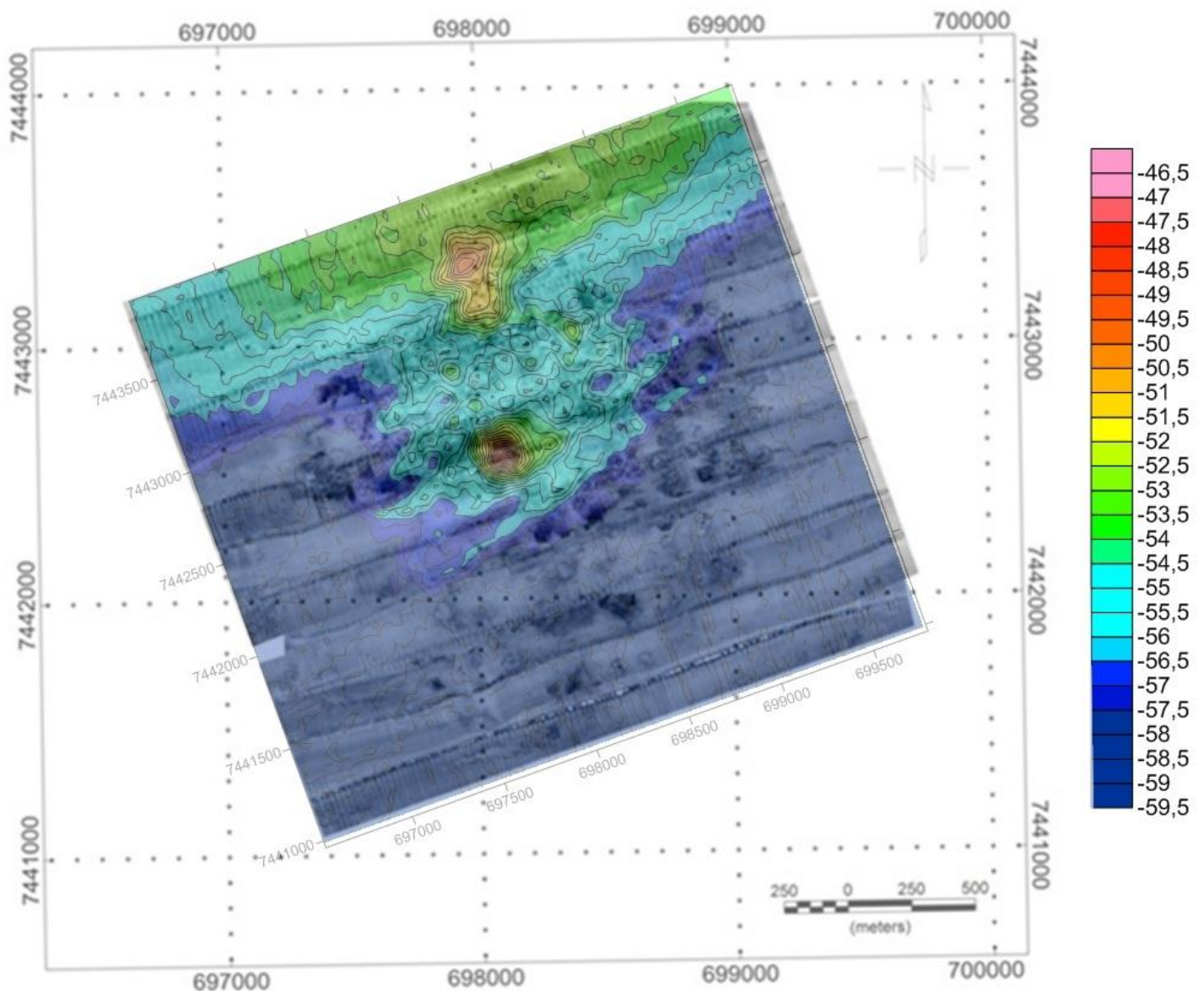


Figura 40 Grid batimétrico superposto ao Mosaico sonográfico do levantamento realizado em maio de 2017.

Comparando-se os mosaicos sonográficos realizados em novembro de 2015 e abril de 2016, nota-se que não houve alterações significativas do fundo da área estudada. Não há indícios de despejos de rejeitos nesse intervalo de tempo. Porém, nas imagens obtidas em maio de 2017 observam-se importantes acumulações na área central (Ponto F) e no entorno desta. O mosaico sonográfico realizado em maio de 2017 mostra evidências de depósito do material dragado caracterizado por alta reflexão difusa, sendo atribuída a brusca sedimentação de lamas compactadas.

## 6.5 Levantamentos Sísmicos

Para a análise das alterações físicas ocorridas na área de estudo, dois levantamentos sísmicos realizados um em 2015 e outro em 2017 (pós-dragagem) somam-se aos levantamentos batimétricos e sonográficos. Os dados sísmicos permitem avaliar a espessura dos depósitos de lama sobre a superfície original do fundo marinho do ponto F. Os grandes pacotes de lama compactada ocasionam uma forte reflexão das ondas sísmica em superfície, ocasionando assim uma obliteração dos refletores sísmicos subjacentes, levando-se a concluir que a maior parte dos sedimentos despejados é constituída em sua maioria de por lama compactada. Os registros confirmam um refletor mais evidente situado a 5 metros sob o fundo marinho, com continuidade lateral bem marcante ao longo de praticamente todas as linhas. A maior refletividade do fundo marinho, fora das áreas de acumulação lamosa, é um indicador da predominância de sedimentos arenoquartzosos com presença de fragmentos de carapaças de conchas. Não foram observadas nos registros sísmicos evidências de **afloramentos rochosos do embasamento cristalino**.

Na figura 41, observam-se as linhas escolhidas de ambos os levantamentos para a comparação e análise de impactos físicos causados pela atividade de dragagem. Os registros sísmicos obtidos em 2015 e 2017 foram analisados e para efeito de comparações, escolheram-se linhas que estavam próximas umas das outras, principalmente nas áreas de maior acumulação de sedimentos provenientes dos descartes.

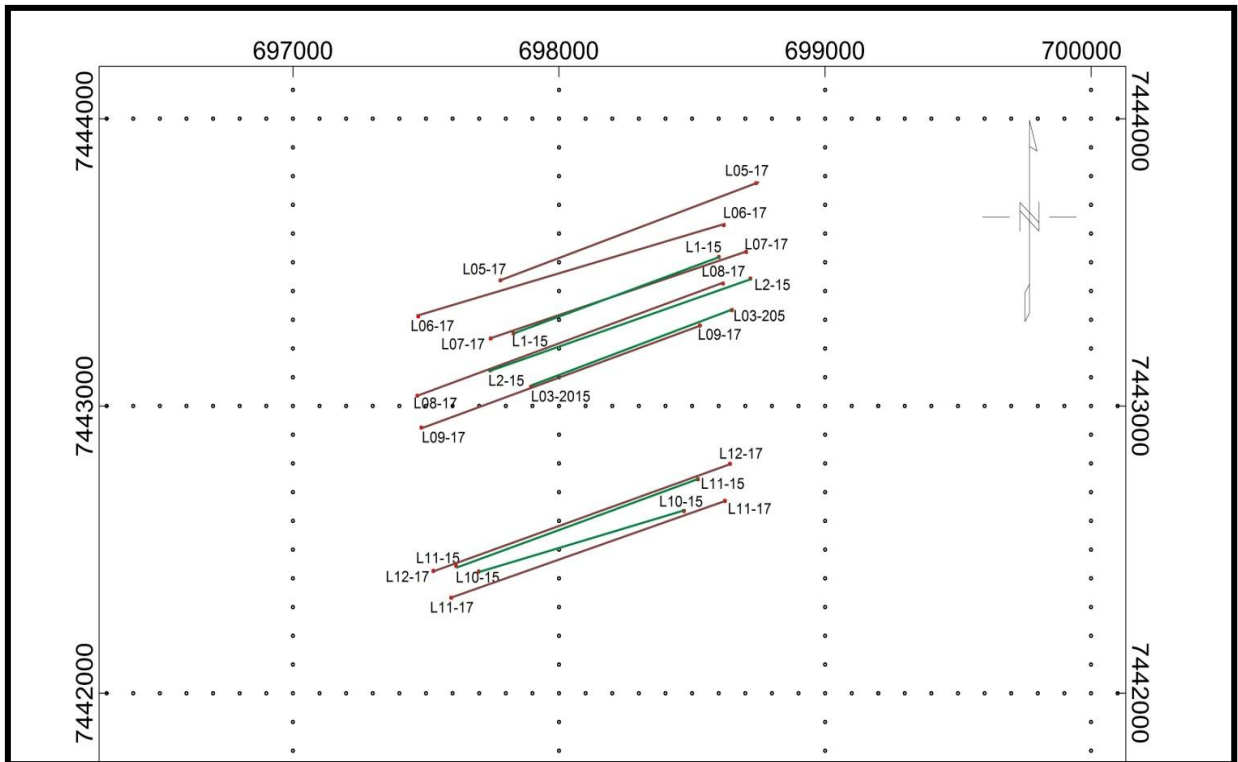


Figura 41 : Linhas usadas para a comparação dos levantamentos sísmicos em 2015 e 2017.

Os valores de profundidades indicados nos registros referem-se às profundidades abaixo do sensor sísmico e não devem ser considerados como valores absolutos de profundidade do fundo. Observam-se dois grupos de linhas, umas mais ao norte, que está localizado na antiga área de descartes, e linhas mais ao sul que mostram as acumulações de descartes antigos, somados aos mais recentes, no ponto central do ponto F. Os registros poderão ser comparados nas figuras 42 a 48.

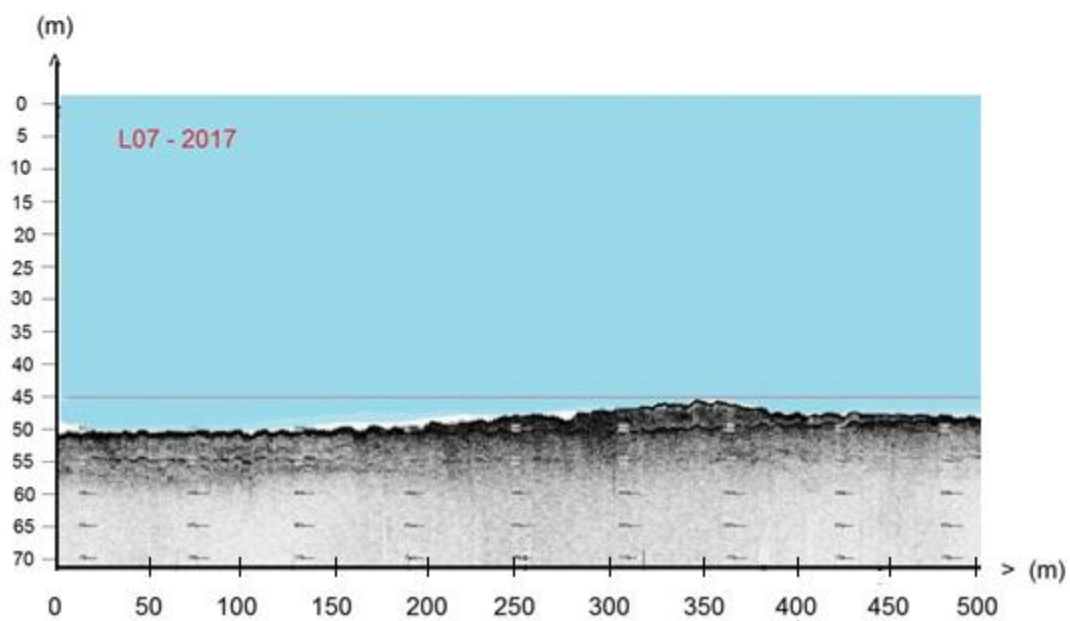
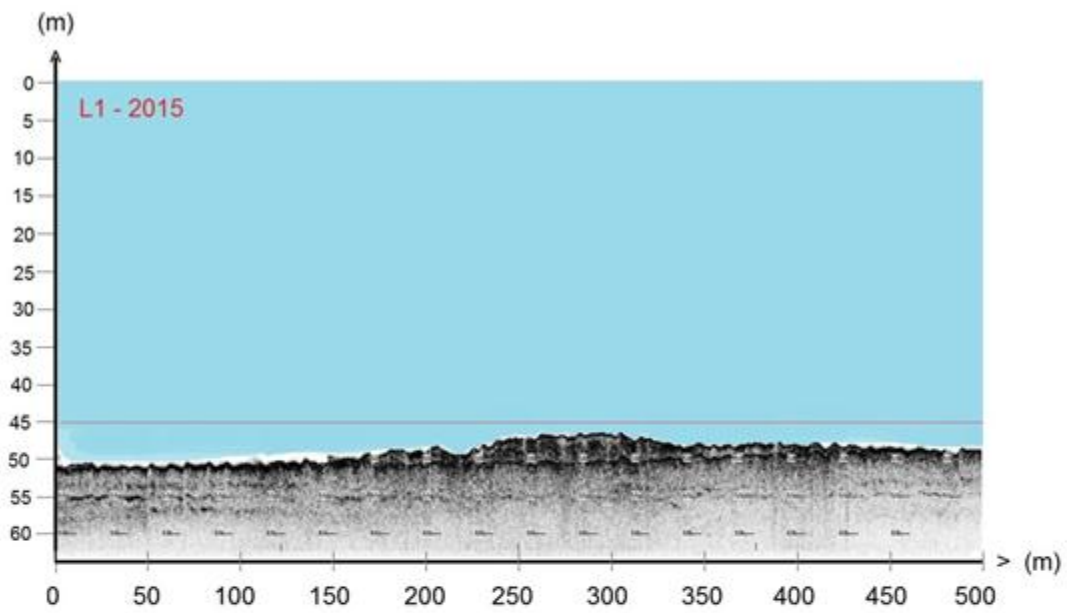


Figura 42 : Perfis Sísmicos L1 de 2015 e L07 de 2017.

A comparação entre as linhas L01 2015 e L07 2017, mostram um acréscimo com cerca de 1 metro do recobrimento superficial dos sedimentos dragados. As áreas subjacentes aos acúmulos ainda apresentam um bom imageamento do refletor correspondente ao fundo marinho original.

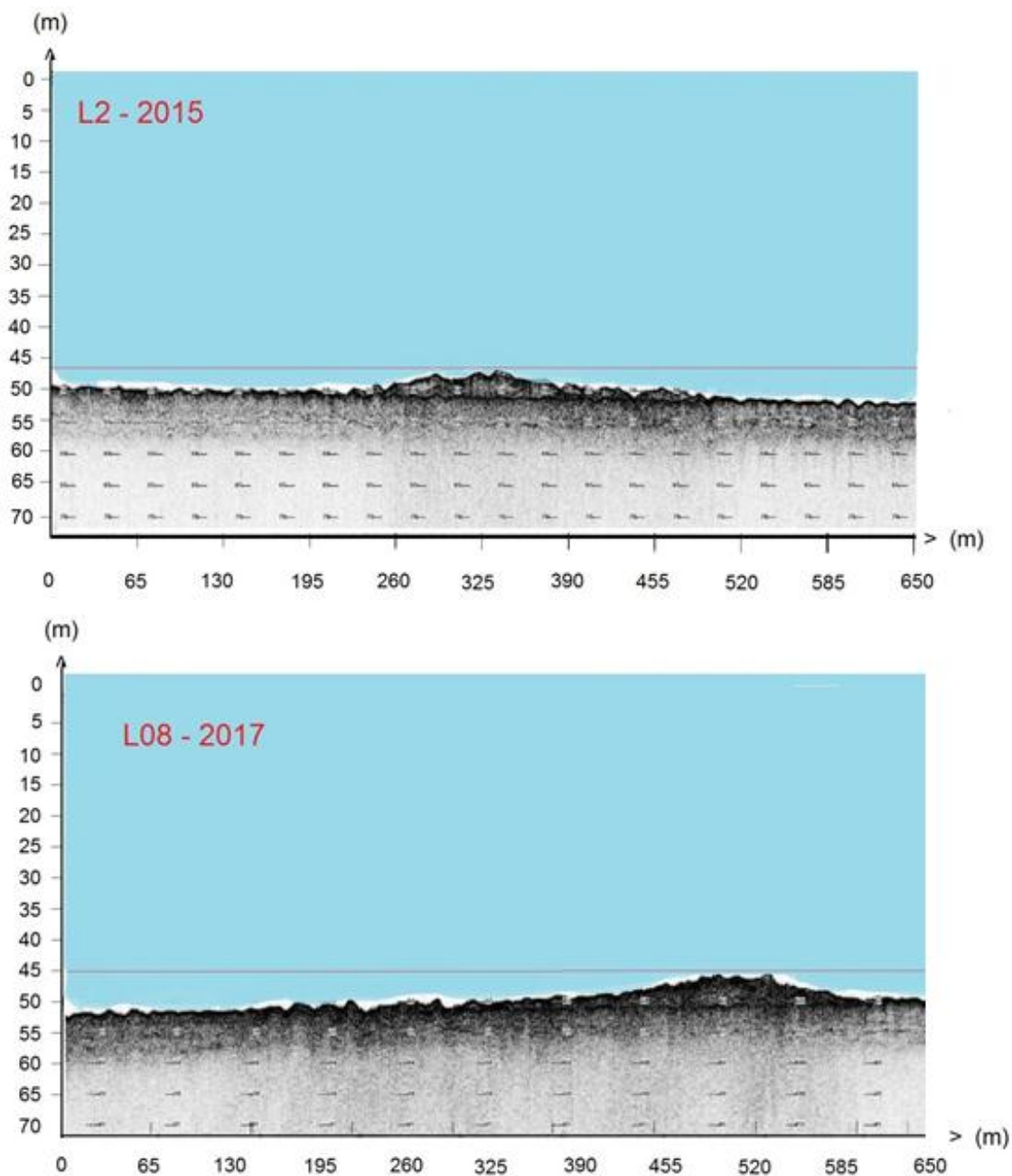


Figura 43: Perfis sísmicos L02 de 2015 e L08 de 2017

Na comparação das linhas L02 2015 e L08 2017, o depósito de sedimentos aparece de forma mais espalhada, reduzindo assim a altura dos pacotes. Nota-se aumento de espessura do primeiro refletor (fundo marinho) qual mostra à presença de sedimentos menos coesos nas áreas subjacentes aos acúmulos, mas ainda apresentam um bom imageamento.

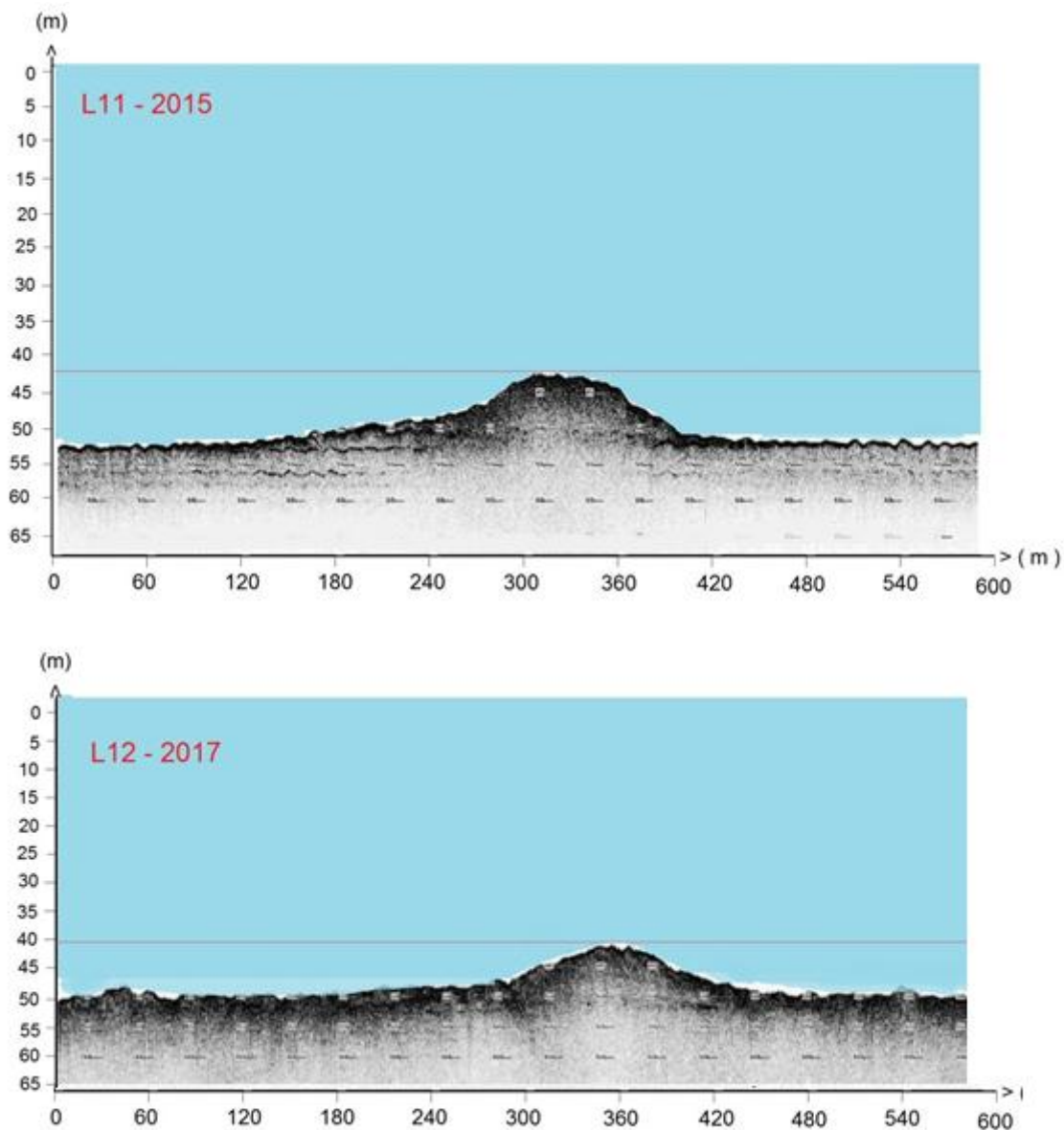


Figura 44 : Perfis sísmicos L11 de 2015 e L12 de 2017.

As linhas L11 2015 e L12 2017 evidenciam uma mudança significativa na acumulação de sedimentos na área. Nota-se que o fundo marinho tornou-se mais espesso com um acréscimo sedimentar entre 2 ou 3 metros em relação ao levantamento de 2017 devido os acúmulos de dragagem. Através do registro sísmico pode-se notar ainda uma mudança na característica do refletor referente ao fundo marinho original, onde apresenta – se bem definido em 2015 e indefinido em 2017, reduzindo a visualização de todo o refletor abaixo. A figura 45 apresenta uma ampliação dos primeiros 80 metros de extensão de ambas as linhas e entre 45 e 55 metros de profundidade em relação à lâmina d’água. Essa comparação entre a L11 de 2015 e a L12 de 2017 mostra uma mudança das características do refletor.



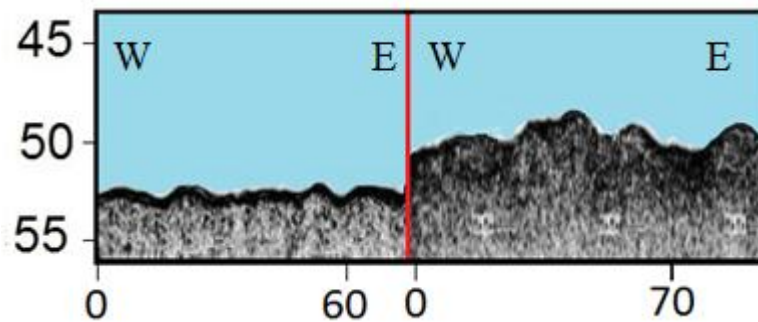


Figura 45 Perfis sísmicos L11 2015 e L12 2017 com ampliação evidenciando o aumento topográfico devido aos depósitos de dragagem e a mudança das características sedimentares locais através do refletor.

A figura 46 mostra a topo do alto estrutural das linhas L11 2015 e L12 2017 de forma comparativa. Nota-se que a característica do refletor se mantém, devido se tratar de sedimentos ainda não coesos fruto de dragagens. Nota-se um aumento de espessura em torno de 2,5 metros.

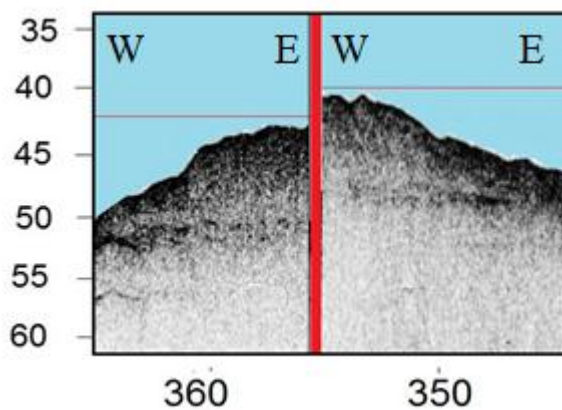


Figura 46 Perfis sísmicos L11 2015 e L12 2017 com ampliação evidenciando o aumento topográfico na área central devido aos depósitos de dragagem.

As linhas L10 2015 e L11 2017 (figura 47) permitem notar que o fundo marinho tornou-se mais espesso em relação a 2015 devido à presença dos novos sedimentos. Em ambos os levantamentos é difícil a visualização de todo o refletor correspondente ao fundo marinho original. A comparação dos perfis evidencia uma suavização da topografia em relação ao levantamento anterior. Tal fato remete a soma do material dragado depositado em pontos mais baixos (reduzindo estas profundidades) e a erosão dos pontos mais altos devido à presença de correntes de fundo que seriam responsáveis pela a remobilização dos sedimentos. Na figura 48, pode-se observar a relação entre os perfis sísmicos com a batimetria de 2017.

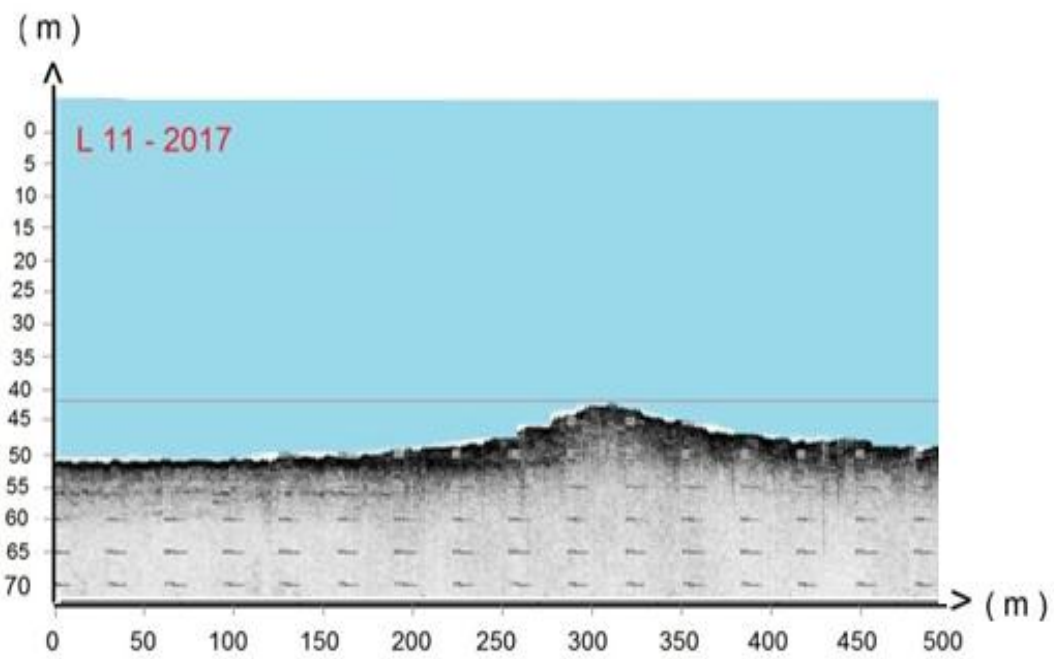
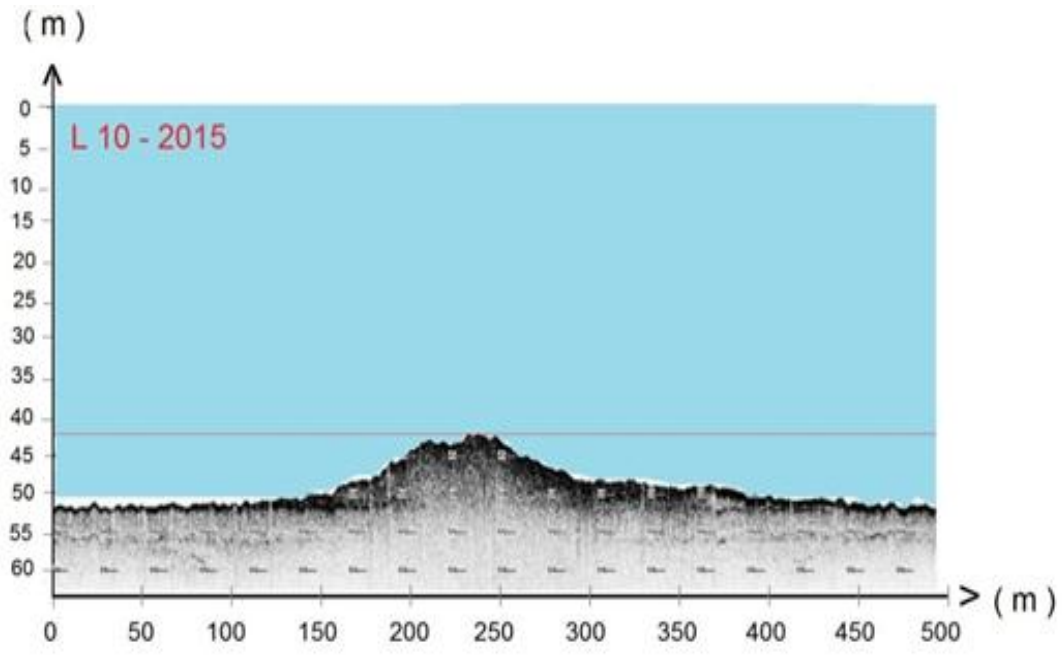


Figura 47 Perfis Sísmicos L10 de 2015 e L11 de 2017

## Linhas Sísmicas e Batimetria de 2017

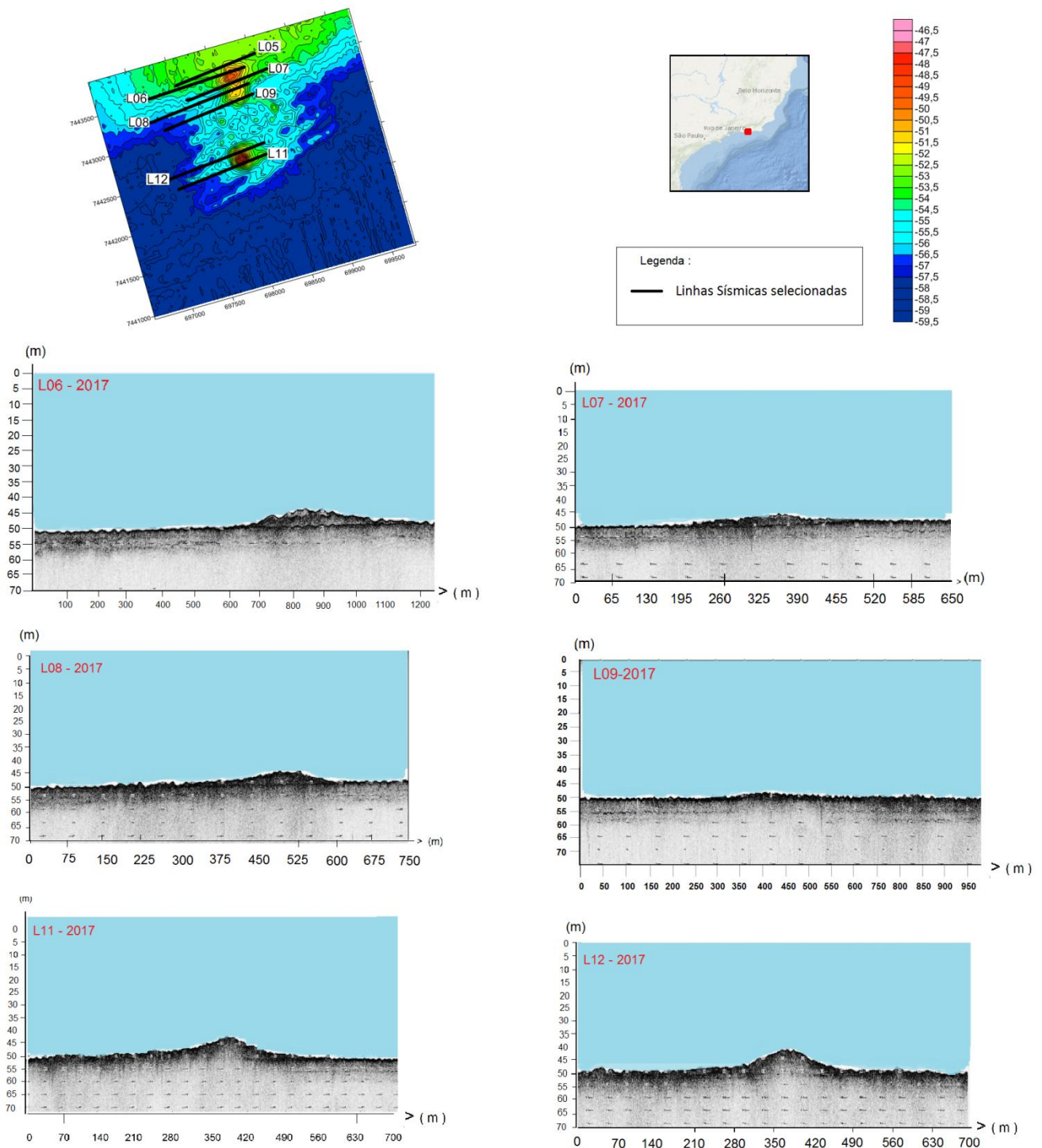


Figura 48 Perfis Sísmicos correlacionados a batimetria da área de descarte. Através desta comparação podemos ter uma visão tanto de forma plana quanto perfilada do local de estudo em questão.

A partir dos perfis sísmicos, pode-se estimar a altura real do depósito lamoso da área central (Ponto F), sobre o fundo marinho anterior a dragagem. As alturas são respectivamente, 8 a 9m em 2015 e 9 a 10m em 2017. Os depósitos mais antigos, ao Norte do Ponto F, permaneceram com cerca de 4 metros de altura nos locais de maior espessura no período considerado. A superfície do fundo, representada por profundidades entre 50 e 53 m, obtiveram uma redução significativa, entre 2016 e 2017 e ocupa atualmente mais de 50% da área total dos levantamentos. Na porção sul da área alguns trechos mais fundos que 54 m ainda apresentam valores compatíveis com aqueles encontrados em 2016, mostrando que a dispersão do material ficou concentrada na parte norte da área. Assim como descrito por (ODEC, 1993; LEAL NETO, 2000; PORTO & TEIXEIRA, 2002; TORRES, 2000) na batimetria, tais mudanças observadas na sísmica também se encontram classificadas como impactos por obra de dragagem.

## 7. Conclusões

Autoridades portuárias em todo o mundo são obrigadas a dragar seus principais canais de navegação e, posteriormente, a descartar o material dragado no mar. Por outro lado, a influência de sedimentos descartados com a morfologia local, a sedimentologia e a recuperação após o término das atividades de disposição ainda é pouco conhecida. No presente estudo, os métodos geofísicos mostram-se ferramentas extremamente importantes para enriquecer a análise das consequências do despejo em um ambiente costeiro dinâmico no que diz respeito a sua morfologia e sedimentologia. Em trabalhos futuros para aumento de qualidade das análises de volume e da batimetria em geral, o levantamento batimétrico, pode ser acompanhado de um acréscimo de medidas, equipamentos e procedimentos, sendo eles: O **SVP (Sound Velocity Profiler)** qual é um dispositivo qual mede parâmetros de pressão, temperatura, salinidade, determinando a velocidade do som ao longo da coluna de água. Tais medições devem ser feitas no início, meio e fim dos levantamentos dado a constante variância desses fatores ao longo da campanha. **MRU**; qual é um equipamento responsável pela compensação dos diferentes movimentos da embarcação como: heave (**principal fator de erros nesse caso**), yaw, pitch e roll. Estes movimentos, caso não compensados serão os responsáveis por propagações de erros e reduções nas precisões das amostragens de profundidade. A compensação destes movimentos torna-se um fator importante para a acurácia do levantamento; **Correção de Maré** devido a ocorrência de variação ao longo do

levantamento, possibilitando a redução de profundidade posteriores. A técnica de redução de maré com o sistema GNSS RTK Tide permite essa correção em tempo real. Porém torna-se indispensável a correção por registros de maré para o próprio controle de qualidade do RTK; **Registro dos offsets na instalação dos equipamentos** devido o levantamento ter como referência para as suas medições a antena receptora das coordenadas geodésicas recebidas através do sistema DGPS. O registro preciso das posições das sondas em relação a antena inserido no software de coleta de dados, minimizando erros sistemáticos; **Patch Test**, que tem por definição a calibração prévia do sistema antes a realização do levantamento. Este procedimento eliminará os erros sistemáticos ainda presentes por deficiência na medição dos offsets. O patch test deve ser refeito sempre que os equipamentos forem montados ou movimentados na embarcação.

O impacto do despejo de detritos de dragagem investigado foi dado como considerável sobre a geomorfologia na área de despejo. O despejo causou uma clara redução de profundidade na maior parte da área de disposição delineada. A morfologia atual do local de despejo reflete o modo de disposição. O processo de planejamento para futuras operações de dragagem no Porto do Rio de Janeiro deve levar em consideração características de sedimentos e avaliação sobre os riscos menores oferecidos ao local de despejo e sua ecologia. A finalidade das análises é achar a solução que seja a menos negativa possível para a descarga de sedimentos em uma área. Por fim, dando mais importância ao pré-planejamento do processo de avaliação de impacto, os gerentes podem garantir que programas abrangentes possam ser realizados, fornecendo uma avaliação rigorosa dos impactos. Isto é particularmente importante onde os trabalhos podem afetar a biota em áreas que foram designadas como tendo alto valor de conservação.

## 8. Referências

- A.J. WHEELER, Environmental controls on Shipwreck preservation: the Irish context, *Journal of Archaeological Science* 29 (2002) 1149 e 1159
- ABREU I.M. et al. Ecological risk evaluation of sediment metals in a tropical Eutrophic Bay, Guanabara Bay, Southeast Atlantic. *Marine Pollution Bulletin* 109 (2016) 435–445
- ALMEIDA, S. R. Subsídios para o Gerenciamento Ambiental de Projetos de Dragagem em Portos. Rio de Janeiro, Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes) - IME, 2004.
- ALVES, M.A., 1992. Correntes de maré e inerciais na plataforma continental ao largo de Ubatuba (SP). (Dissertação mestrado) Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, Brasil (162 pp.).
- AMADOR, E.S. 1997. Baía de Guanabara e ecossistemas periféric homem e natureza. Rio de Janeiro, Edição do Autor, 539 p.
- BAPTISTA-NETO, J.A., Gingele, F.X., Leipe, T., Brehme, I., 2006. Spatial distribution of heavy metals in surficial sediments from Guanabara Bay: Rio de Janeiro, Brazil. *Environ. Geol.* 49, 1051–1063.
- BILÓ, T.C.; SILVEIRA, I.C.A.; BELO, W.C.; CASTRO, B.M.; PIOLA, A. R. 2014. Methods for estimating the velocities of the Brazil Current in the pre-salt reservoir area off southeast Brazil (23 °S–26 °S). *Ocean Dynamics*, v. 64, n.10, p. 1431 – 1446.
- BILÓ, T.C.; SILVEIRA, I.C.A.; BELO, W.C.; CASTRO, B.M.; PIOLA, A. R. 2014. Methods for estimating the velocities of the Brazil Current in the pre-salt reservoir area off southeast Brazil (23 °S–26 °S). *Ocean Dynamics*, v. 64, n.10, p. 1431 – 1446.
- BOEBEL, O., R. E. DAVIS, M. OLLITRAUT, R. G. PETERSON, P. L. RICHARD, C. SCHMID.; W.ZENK, 1999: The intermediate depth circulation of the Western South Atlantic. *Geophysics. Res. Lett.*, 26(21), 3329–3332.
- BORLAND, W. M.; MILLER, C. R. Distribution of sediment in large reservoirs. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, Reston, VA, USA, v.125, p. 166-180, 1960.
- BRANNON J.M., MYERS, T.E., GUNNISON, D., AND PRICE, C. 1991. "Non-Constant PCB Partitioning in New Bedford Harbor Sediment During Sequential Batch Leaching" *Environmental Science and Technology* 25:1082-1087
- BRANNON JM, POINDEXTER-ROLLINGSME. Consolidation and contaminant migration in a capped dredged-material deposit *Sci. Total Environ.* 1990;91:115–26
- BRASIL. Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Institui a Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm). Acesso em: setembro. 2017.

- C. BELTRAME, D. GADDI, Report on the first research campaign on the Napoleonic brick, Mercure, wrecked off Lignano, Udine, Italy in 1812, *The International Journal of Nautical Archaeology* 31 (2002) 60e73.
- C.H. HOBBS, D.B. BLANTON, R.A. GAMMISCH, J. BROADWATER, A marine archaeological reconnaissance survey using side-scan sonar, Jamestown, Virginia, USA, *Journal of Coastal Research* 10 (1994) 351e359.
- CAMPOS, E.J.D.; GONÇALVES, J.E; IKEDA, Y. 1995. Water Mass Structure and Geostrophic Circulation in the South Brazil Bight -- Summer of 1991. *Journal of Geophysical Research*, v. 100, n. C9 , p. 18537 – 18550.
- CAMPOS, E.J.D.; IKEDA, Y.; CASTRO FILHO, B.M.; GAETA, S.A.; LORENZETTI, J.A.; STEVENSON, M.R. 1996. Experiment studies circulation in western South Atlantic, *EOS*, v. 77, p. 253 – 259.
- CAMPOS, R. Three-dimensional reservoir sedimentation model. Newcastle: University of Newcastle, 2001
- CASTIGLIA M.C.P. Análise Geotécnica e Hidrodinâmica da Alternativa de Disposição Subaquática dos Rejeitos de Dragagem do Complexo Lagunar de Jacarepaguá - Rio de Janeiro. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG 2008); Búzios, RJ , 23-26 Agosto 2008 ; p.1065-1072
- CASTIGLIA, M. C. C. P. Disposição subaquática de rejeitos de dragagem: o caso do complexo lagunar de Jacarepaguá. Rio de Janeiro, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - COPPE/UFRJ, 2006.
- CASTRO FILHO, B.M., 1996. Correntes e massa de água da plataforma continental norte de São Paulo. Tese livre docência, Insituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 246p.
- CATANZARO, L.F. 2002. Distribuição de sedimentos e características de ecocarater (7,0 kHz) na baía de Guanabara, RJ-Brasil. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal Fluminense, Dissertação de Mestrado, 58 p.
- CORRÊA FILHO, C. R. R., ALBERTIN, L. L., MAUAD, F. F. Determinação dos polinômios cota x área x volume utilizando a sonda acousticdopplerprofiler (ADP) no reservatório de Barra Bonita, SP. *Revista Minerva*, São Carlos, v.2, n. 1, p. 79-90, 2005.
- COSTA EA & FIGUEIREDO Jr AG. 1998. Echo-Characterand Sedimentary Processes on the Amazon Continental Shelf. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 70(2):187-200.
- DAMUTH JR. 1980. Use of high-frequency (3.5-12 kHz) echograms in the study of near-bottom sedimentation processes in the deep-sea: a review. *Marine Geology*, 38: 51-75.
- DAMUTH, J.E. 1975.Echo character of the Westwen equatorial Atlantic :Morphology

- , Quaternary Sediments and Climatic Cycles. Thesis, Columbia Univ., New York, N.Y., 602 pp.
- DAMUTH, J.E., 1975. Echo characters of the western equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and distribution of terrigenous sediments. *Mar. Geol.* 18, 17-45.
  - DAMUTH, J.E., 1980. Use of high-frequency (3.5-12 kHz) echograms in the study of near-bottom sedimentation processes in the deep-sea: a review. *Mar. Geol.* 38, 51-75.
  - DAMUTH, J.E., HAYES, D.E., 1977. Echo character of the east Brazilian continental margin and its relationship to sedimentary processes. *Mar. Geol.* 24, 73-95.
  - DIAS, G.T.M. & QUARESMA, V.S. 1996. Baía de Guanabara – Evolução geomorfológica do fundo submarino. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, 1996. Anais, Salvador, 4:514-517
  - DUARTE, C. S. L.; VIANA, A. R. 2007. Santos Drift System: stratigraphic organization and implications for late Cenozoic palaeo circulation in the Santos Basin, SW Atlantic Ocean. *The Geological Society*, 276:171–198.
  - DUCK, R.W.; WEWETZER, S.F.K. 2000. Relationship between current measurements and sonographs of subtidal bed forms in the macrotidal Tay Estuary, Scotland. In: PYE K e ALLEN JRL (Ed.). *Coastal and Estuarine Environments: sedimentology, geomorphology and geoarchaeology*. Geological Society, London, Special Publications, 175: 31 – 41.
  - EVANS, D.; S. R. SIGNORINI, 1985: Vertical structure of the Brazil Current. *Nature*, 315, 48–50.
  - FIGUEIREDO JR, A. G.; TESSLER, M. G. 2004. Topografia e composição do substrato marinho da Região Sudeste-Sul do Brasil. São Paulo, Instituto Oceanográfico, USP. Série Documentos Revizee – Score Sul. 64 p
  - G.F. Caston, Wreck marks: indicators of net sand transport, *Marine Geology* 33 (1979) 193e204.
  - GARFIELD III, N. 1990. The Brazil Current at Subtropical Latitudes. Ph.D. Thesis, University of Rhode Island. 121 p.
  - GODOI, S. S., 2005: Dinâmica quase-geostrófica do sistema Corrente do Brasil no embanhamento de São ao Paulo (23,5°-27°S). Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 133 pp.
  - GOES FILHO, A.H. Dragagem e gestão dos sedimentos, 2004, 162 p. Dissertação ( Mestrado) – Escola de Engenharia Civil , Universidade Federal Fluminense do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro , 2004.
  - GONÇALVES, T. P. (2013) Abordagem multi metodológica sobre o despejo de sedimentos de dragagem em área de descarte oceânico – plataforma adjacente à Baía de Guanabara. Tese de Doutorado em Geologia e Geofísica Marinha. p.1-282.
  - H.D. SMITH, A.D. Couper, The management of the underwater cultural heritage, *Journal of Cultural Heritage* 4 (2003) 25 e 33.



- HEILBRON M., MOHRIAK W., VALERIANO, C.M., MILANI, E.J., ALEMIDA J., TUPINAMBÁ M. 2000. From collision to extension: the roots of the southeastern continental margin of Brazil. In: W. Mohriak, M. Talwani (eds.): Atlantic Rifts and Continental Margins. American Geophysical Union Geophysical Monograph 115:1-31.
- HENRY J. BOKUNIEWICZ ROBERT B. GORDON Sediment Transport and Deposition in Long Island Sound. Volume 22, 1980, Pages 69-106.
- HOLLISTER, C.D., HEEZEN, B.C., 1972. Geologic rejects of ocean bottom currents: western North Atlantic. In: Gordon, A.L. (Ed.), Studies in Physical Oceanography. Gordon and Breach, London, pp. 37-66.
- J.B. ARNOLD, R.S. Weddle, The Nautical Archaeology of Padre Island, Academic Press, New York, 1978.
- KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I., 2009. Geofísica de exploração. Tradução Maria Cristina Moreira Coelho. São Paulo : Oficina do Texto, 438p.
- KJERFVE, B.; RIBEIRO, C.H.; DIAS, G.T.M.; FILIPPO, M. & QUARESMA, V.S. 1997. Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. Continental Shelf Research, 17(13):1609-1643.
- KURTZ, B.C. & ARAÚJO, D.S.D. DE 2000. Composição florística e estrutura do componente arbóreo de um trecho de Mata Atlântica na Estação Ecológica Estadual do Paraíso, Cachoeiras de Macacu, Rio de Janeiro, Brasil. Rodriguésia, 51(78/115):69-112
- LEAL NETO, A. de C. A expansão do terminal de contêineres de Sepetiba: uma aplicação da dinâmica de sistemas e considerações ambientais. Rio de Janeiro, Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - COPPE/UFRJ, 2000.
- LIMA, A.F. 2003. Comparação dos Sistemas Sedimentares Profundos da Bacia Sudeste-Sul do Brasil com ênfase no Sistema Misto Colúmbia. Tese (Doutorado), Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo, São Paulo. 252p.
- LOBO, F.J.; GONZÁLEZ, R.; DIAS, J.M.A.; MENDES, I.; DEL RIO DÍAZ, V. 2002. Influence of estuarine morphology on bedload sediment transport patterns: an example from the Guadiana estuary (SE Portugal). Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos, v. 1, p. 87 – 98.
- LUBBERTS, R.K., AND BEN-AVRAHAM, Z., 2002. Tectonic evolution of the Qumram basin from high – resolution 3.5 - KHz Seismic profiles and implication for the evolution of the northern Dead Sea basin : Tectonophysics, v.346p.91-113.
- M. DEAN, A review of marine archaeology, Marine archaeology in the Irish Sea, Irish Sea Forum Seminar Report No. 21, University of Liverpool, 1999, 32 e 40.
- M. REDKNAP, G. FLEMING, The Goodwins Archaeological Survey: towards a regional marine site register in Britain, World Archaeology 16 (1985) 312 e 328.

- M. REDKNAP, Surveying for underwater archaeological sites: signs in the sands, *The Hydrographic Journal* 58 (1990) 11 e 16
- MAHIQUES, M.M.; BÍCEGO, M.C.; SILVEIRA, I.C.A.; SOUZA, S.H.M.; LOURENÇO, R.A.; FUKUMOTO, M.M. 2005. Modern sedimentation in Cabo Frio upwelling system, Southeastern Brazilian shelf. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 77, n. 3, p. 535 – 548.
- MAIA, R.M.C., REIS, A.T., ALVES, E.C., SILVA, C.G., GUERRA, J.V., GORINI, C., SILVA, A., ARANTES-OLIVEIRA, R., 2010. Architecture and stratigraphic framework of shelf sedimentary systems off Rio de Janeiro state, northern Santos basin-Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography* 58 (no.spe2), 15-29.
- MARINHA DO BRASIL. NORMAM-11/DPC. Portaria Nº 27, de 12 de maio de 1998. Disponível em: [https://www.dpc.mar.mil.br/normam/N\\_01/normam01.pdf](https://www.dpc.mar.mil.br/normam/N_01/normam01.pdf). Acesso em: jan. 2012.
- MATSUURA, Y. Contribuição ao estudo da estrutura oceanográfica da região sudeste entre Cabo Frio (RJ) e Cabo de Santa Marta Grande (SC). *Ciência e Cultura*, v. 38, n. 8, p. 1439-1450, 1986.
- MIRANDA, José Iguelmar. EMBRAPA INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. Fundamentos de sistemas de informações geográficas. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2005.- 425p.
- MONTEIRO, M. T. Fitorremediação de rejeito contaminado proveniente do Canal do Fundão, na Baía de Guanabara - RJ. Rio de Janeiro, Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - COPPE/UFRJ, 2008.
- MORANG, A., LARSON, R & GORMAN, L. 1997. Monitoring the Coastal Environment ; Part III : Geophysical and Research Methods. *Journal of Coastal Research*, 13(4):1064-1085.
- MORTON JW. Ecological effects of dredging and dredge spoil disposal: a literature review. Technical papers of the US Fish and Wildlife Service, 94. Technical paper; 1977.(33 pp.).
- MOSHER, D.C & SIMPKIN, P.G 1999. Status and trends of marine high resolution seismic reflection seismic reflection profiling: data acquisition. *Geoscience Canada*. 26(4): 149-204
- MUEHE,D.;VALENTINI,E.1988. O litoral do Estado do Rio do Janeiro : uma caracterização físico-ambiental.1.ed.,Rio de Janeiro:Femar,99 p.
- NOVAK, B & PEDERSEN, G.K. 2000 Sedimentology, seismic facies and stratigraphy of a Holocene spit-plataform complex interpreted from high-resolution shallow seismic, Lysegrund, southern Kattegat, Den-Mark. *Marine Geology* 162, 317-335.
- ORGANIZATION FOR DEVELOPMENT AND ECONOMIC COOPERATION.

Environmental Assessment Handbook for Port Development Projects. The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan. Japão, 1993.

- PORTO, M. Maia; TEIXEIRA, S. G. Portos e meio ambiente. São Paulo: Edições Aduaneiras, 2002.
- QUARESMA VS, DIAS GTM, BAPTISTA NETO JA (2000) Caracterização da ocorrência de padrões de sonar de varredura lateral e sísmica de alta frequência (3,5 e 7,0 kHz) na porção sul da Baía de Guanabara—RJ. *Braz J Geophysics* 18(2):201–214.
- QUARESMA, V.S. 1997. Caracterização da dinâmica sedimentar da baía de Guanabara, RJ. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal Fluminense, Dissertação de Mestrado, 97 p.
- R. Quinn, C. Breen, W. Forsythe, K. Barton, S. Rooney, D. O’Hara, Integrated geophysical surveys of The French Frigate La Surveillante (1797), Bantry Bay, Co. Cork, Ireland, *Journal of Archaeological Science* 29 (2002) 413 e 422.
- R. Quinn, J.R. Adams, J.K. Dix, J.M. Bull, The Invincible site e an integrated geophysical assessment, *International Journal of Nautical Archaeology* 27 (1998) (1758) 126 e 138.
- R. Quinn, W. Forsythe, C. Breen, M. Dean, M. Lawrence, S. Liscoe, Comparison of the maritime sites and monuments record with side-scan sonar and diver surveys: a case study from Rathlin Island, Ireland, *International Journal of Geoarchaeology* 17 (2002) 441e451.
- Radambrasil, 1983. Folhas SF. 23/24, Rio de Janeiro/Vitória; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, MME (sec. ger.), v. 32, 780 p
- Reis, A.T.; Maia, R.M.C.; Silva, C.G.; Rabineau, M.; Guerra, J.V.; Gorini, C.; Ayres, A.; Arantes-Oliveira, R.; Benabdellouahed, M.; Simões, I.; Tardin, R. 2013. Origin Of Step-Like And Lobate Seafloor Features Along The Continental Shelf Off Rio De Janeiro State, Santos Basin-Brazil. *Geomorphology*, V. 203, N.1, P. 25–45.
- Rodolfo J. Angulo; Guilherme C. Lessa ; Maria Cristina de Souza. A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*. Volume 25, Issues 5–6, March 2006, Pages 486-506.
- SEABEAM INSTRUMENTS. Multibeam sonar theory of operation: technology for advanced seafloor mapping applications. East Walpole: L-3 Communications SeaBeam Instruments, 2000
- SHERIFF, R.E & GELDART, L.P. (1982) *Exploration Seismology Vol.1 : History, Theory and Data Acquisition*. Cambridge University Press, Cambridge
- SILVEIRA, J.D. (1964) Morfologia do litoral. In: Azevedo, A. (ed). *Brasil: a terra e o homem*. Companhia Editora Nacional, São Paulo. Volume 1: 253-305.

- SOUTHARD, J.B., E STANLEY, D.J. 1976. Shelf-break processes and sedimentation. In *Marine sediment transport and environmental management*. pp. 351–377.
- SOUZA, L.A.P. 2006. Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas. Tese de Doutorado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 311 p.
- SOUZA, M.H.S. 1988. Clima de ondas ao norte do Estado do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ. 90p.
- STOMMEL, H., 1958: The abyssal circulation. *Deep-Sea Res.*,5, 80–82.
- STRAMMA, L.; ENGLAND, M. 1999. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. *J Geophysics Res* 104(C9):20, 863 – 20, 883.
- SUGUIO, K.; MARTIN, L. 1978. Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul-fluminense. In: *International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary. Special Publication*. São Paulo, Instituto de Geociências da USP - Sociedade Brasileira de Geologia. v. 1, p. 1 – 5.
- TORRES, R. J. Uma Análise Preliminar dos Processos de Dragagem do Porto do Rio Grande, RS. Rio Grande, RS, Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Fundação Universidade Federal do Rio Grande, 2000.
- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS - USACE. HEC-6 scour and deposition in rivers and reservoirs, user's manual. Davis: Hydrologic Engineering Center, 1972.
- VAN ANDEL, T.J., AND SACHS, P.L., 1964, Sedimentation in the Gulf of Paria during the Holocene Transgression; a Subsurface Acoustic Reflection Study. *Journal of Marine Research*, V. 22, No. 1, p. 30-50
- Veloso, H.P.; Rangel Filho, L.R. & Lima, J.C.A 1991. Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro. Instituto Brasileiro de Geografia (IBGE), 124 p
- VICALVI, M. A.; COSTA, M. P. A.; KOWSMANN, R. O. Depressão de Abrolhos: uma paleolaguna holocênica na plataforma continental brasileira. *Bolm Téc. Petrobrás*, v. 21, p. 279-286, 1978.
- WEWETZER, S.F.K.; DUCK, R.W.; MCMANUS, J. 1999. Side Scan Sonar mapping of bedforms in the middle Tay Estuary, Scotland. *International Journal of Remote Sensing*, v. 20, p. 511 – 522.
- WEWETZER, S.F.K; DUCK, R.W. 1999. Bedforms of the middle reaches of the Tay Estuary, Scotland. *Special Publications of the International Association of Sedimentologists*, v. 28, p. 33 – 41
- William H. McAnally Jr Stephen A. Adamec Jr. Designing open water disposal for dredged muddy sediments. Volume 7, Issues 11–12, November–December 1987, Pages 1445-1455.
- WU, W.; VIEIRA, D. A.; WANG, S. S. Y. One-dimensional numerical model for nonuniform sediment transport under unsteady flows in channel networks. *Journal of*

Hydraulic Engineering, Reston, v. 130, n. 9, 914-23, 2004.

- ZEMBRUSKI, S.G. 1979. Geomorfologia da margem continental sul-brasileira e das bacias oceânicas adjacentes. In: Chaves, H.A.F. (Ed.) Geomorfologia da margem continental brasileira e das bacias oceânicas adjacentes, Rio de Janeiro, Petrobrás. v. 7, p. 129 – 177.
- ZHOU, J.; LIN, B. One-dimensional mathematical model for suspended sediment by lateral integration. Journal of Hydraulic Engineering, Reston, v. 124, n. 7, p. 712-717, 1998.

## **ANEXO 1**

( Artigo gerado com a dissertação )

# **Sea Bottom Geomorphic Impacts resulted from Dredged Sediment Disposal - The case from Rio de Janeiro Port**

**Dias G.T; Fontana. L.H.P.; Silva C.G.; Silva, R.C.; Lima, L da S.; Fonseca, E.M.**

<sup>1</sup>Postgraduate Program in Dynamics of Oceans and Earth, Fluminense Federal University, Niterói/RJ, Caixa Postal: 106051, CEP: 24230-971, Brazil.

## **Abstract**

Marine dredging is an excavation activity carried out worldwide by many industries. Particularly in the portuary activity it has bigger importance by keeping waterways navigable. The effects of disposal of dredged material on benthic ecosystems are diverse. Studies on the consequences of dredging on estuarine morphology and its sedimentary dynamics are common, but the impacts of dumping dredge spoil in coastal open settings are rarely found in scientific literature. The present study objected to evaluate the geomorphic disturbance resulted from de dumping of dredged material excavated from Rio de Janeiro Port, in order to understand the sediment dispersion capacity in the internal area of Rio de Janeiro continental shelf, as well as to question the used approach of material release by the dredging vessel. Field campaigns were organized in order to feature excavated and dumped material through grain size analysis. At the same time site geomorphology impact were evaluated through bathymetric and geophysics methods. Obtained data revealed significant sea bottom disturbance and sediment accumulation. local grain size characteristics changed significantly, potentially impacting surrounding benthic environment.

## **INTRODUCTION**

The economic dynamic of many coastal areas is directly connected on the capacity of their waterways and ports. Unfortunately, not all locations are naturally deep enough our permanently profound as required for portuary activity. Most areas adjacent to ports or waterways are characteristically shallow and continued dredging of these areas is usually needfull to maintain minimal operational standards. This produces large amounts of sediment that must be reallocated (Harvey et al., 1998).

Many researchers have limited them studies to impacts focusing excavation sites. The dredging process has, however, important potential impacts outside the boundaries of the dredge site. For instance, previous studies of dredge-spoil dumping have demonstrated a range of impacts on benthos ranging from large to long-term impacts (Harvey et al., 1998).

Due to the relative immobility of most benthic organisms, sediment deposition from open-sea dredging may be more damaging to benthic macroinvertebrate communities than to any other member of the aquatic ecosystem, (Clarke & Warwick, 1994). Studies have demonstrated broad differences in disposal effects on the macrofauna, ranging from minimal (Smith & Rule, 2001) to significant community-structure changes (Harvey et al., 1998; Roberts et al., 1998), indicating that the potential environmental effects of each dredging project must be evaluated on a case-by-case basis (Harvey et al., op cit).

As exemplified above, the results of discard of dredged sediment on the sea bed are innumerable. In the same way, the intensity of an impact caused by disposal of dredged material depends on many variables, such as the volume of removed material, the disposal technique, the physical characteristics of the discarded sediment and hydrodynamic patterns at the discharge location (Cole et al., 1999b).

Much of the literature have studied the environmental impact of dredging activities (Van Maren et al., 2014) or their geomorphic modifications (e.g. Monge-Ganuzas et al., 2013), but few authors evaluated the impact of spoils in the open marine environment. Several studies have addressed the effects of the disposal of dredged material in offshore environments, but only few have considered the short- and long-term effects (> 1 year) of the disposal of uncontaminated dredged material (Du Four and Van Lancker, 2008).

In dynamic coastal areas, the knowledge on the interaction of the dumped sediments with the existing morphological and sedimentological conditions is still fragmentary, especially from a long-term perspective, although those changes can in turn have an impact on the hydrodynamic regime, sediment transport and on the ecosystem in general.

The periodic dredging and dumping activities can incur great costs, and can also cause significant changes in sediment distribution and seabed morphology (Wienberg and Bartholoma, 2005). Therefore economically and environmentally sound dredging and dumping operations require not only an understanding of the mobility and dispersion pattern but the potential environmental effects caused by the dumping and dispersion of the dredged material. Obviously multidisciplinary studies that integrate various techniques are needed to achieve these objectives.

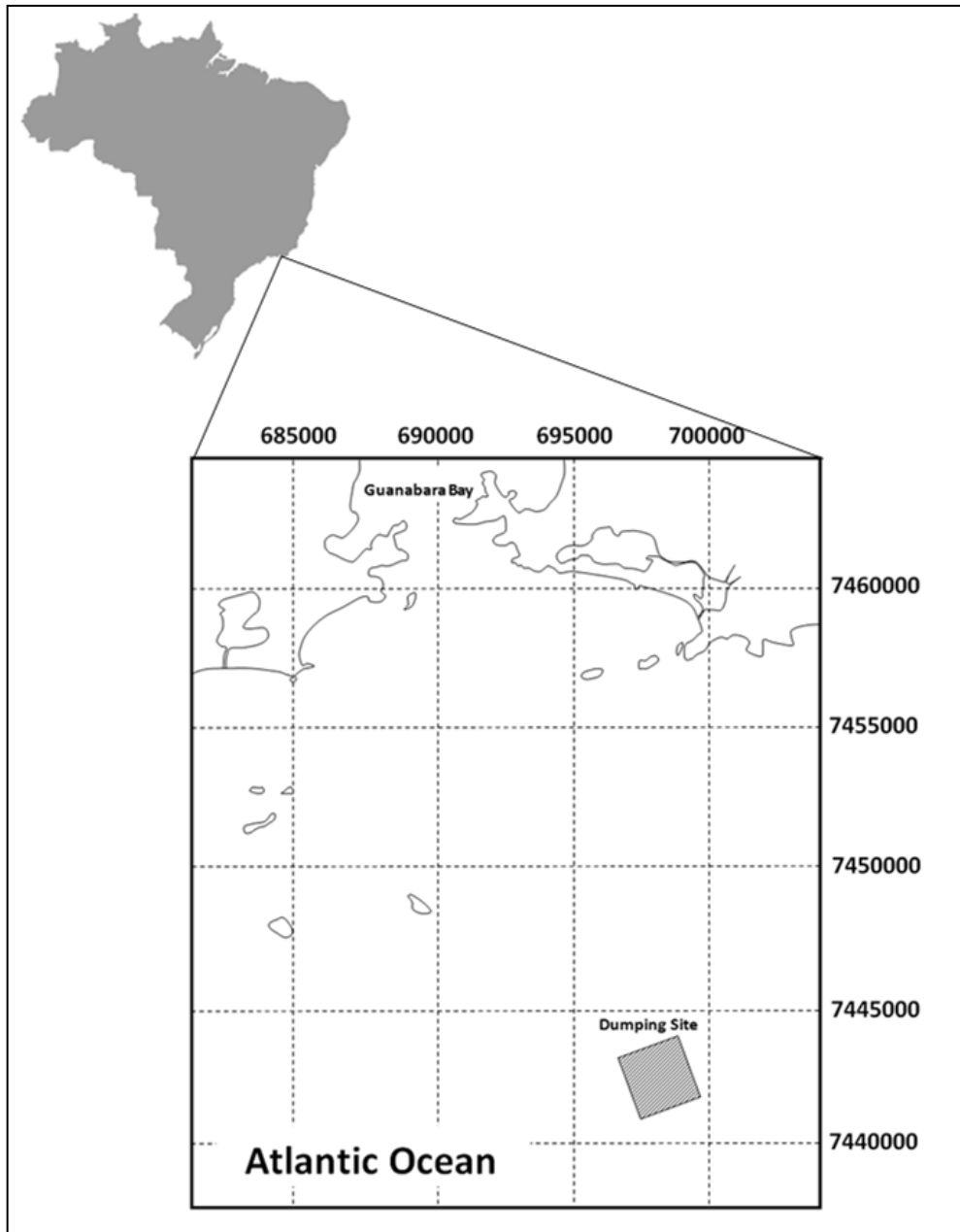
Taking into account the above mentioned information, the present study aimed to verify the geomorphologic impacts linked with the sediment discharge in the dumping site in order do understand the particle accumulation dynamic on the continental shelf adjacent to Guanabara bay.

## STUDY AREA

The Rio de Janeiro Port, which is one of the most important port in Brazil, is located in Guanabara bay. Its access is ensured by regular maintenance and permanent dredging of the outer navigation channel. Guanabara Bay in Rio de Janeiro state is one of the largest bays on the Brazilian coastline (Fig. 1). Over the past century the catchment area around Guanabara Bay has been strongly modified by human activities which involved deforestation and uncontrolled urban settlement. This area is the second largest industrial region in Brazil and has over 12,000 industries operating along Guanabara Bay drainage basin and these account for 25% of the organic pollution released to the Bay (FEEMA, 1990). Two oil refineries process 7% of the national oil and approximately 2,000 commercial ships dock in the port of Rio de Janeiro every year, making it the second largest harbor in Brazil. The bay is also the homeport to two naval bases, a shipyard, and a large number of ferries, fishing boats and yachts (Kjerfve et al., 1997).

Because of the sensible ecology present in Guanabara bay, the local authorities doesn't permit sediment discharges inside the estuary. So, actually sediment disposal have been done along the continental shelf in previous licensed spots. Nowadays the used area is showed in the Figure 1. The study area represents a low-gradient moderate- to high-energy continental shelf, affected by the passage of winter frontal systems. It is a microtidal shelf where tidal currents seem to be more important in the across-shelf direction (Alves, 1992). Local depths reach values of 50 m on average. The region is used for fishing and tourism among other activities. Particularly, there is little information about how these regions were impacted by anthropogenic influences at the land-sea interface (Maboyd and Trull, 2007; Griffith et al., 2009).





**Figure 1. Study Area**

## MATERIALS AND METHODS

Reports from various monitoring programmes and field and laboratory based experiments clearly demonstrate that the level and scale of impact is related to a number of important attributes of the dredge-spoil, the receiving habitat and the community composition at the receiving site. So, a total of 20 core samples were taken during one pre dredging activity campaign in order to evaluate the sediment nature of the material that would be excavated and dumped in the internal shelf site in front of Guanabara bay (Figure 2). The core sampler penetrated 100 to 400 cm in the sediments and allowed sampling individual laminae of sediment. The subcores were cut longitudinally and of each sediment layer a subsample was taken. The subsamples were dry sieved on a column with mesh sizes every  $\frac{1}{4}$  phi, ranging between 2000 and 710  $\mu\text{m}$ . After a destruction of carbonate, the sand fraction was sieved similarly in a range between 710 and 75  $\mu\text{m}$ . Finally, the mud fraction (when present) was analyzed using a Micromeretics SediGraph 5100. Grain-size distribution curves and the sedimentological parameters of each sample (mean grain-size, sorting and skewness) were calculated.

In the dumping site, on the other hand, thirteen sampling stations were chosen (Figure 3), in order to detect changes on the particle size distribution, after the dredging activity. Superficial samples were obtained with Van Veen grab sampler, before and after the dredging activity. All samples were submitted to the same treatment and analysis above mentioned.

The geomorphic baseline characterization of the dumping site was performed by the use of three procedures: Multibeam sonar and bathymetry survey were conducted during two field campaigns: One before (April 2016) and one after the dredging activity (May 2017), in order to analyze sea bottom geomorphology impacts. The studied area was the dredging residues disposal site located in the front of Guanabara bay (Figure 1).

Side-scan sonar records (EdgeTech 4100, 100–500 kHz) were acquired, covering an area of 4km<sup>2</sup> (Fig. 1) divided in 24 lines. Sonograms were processed with Hypack software and converted into georeferenced images. The bathymetric system used is an Ohmex Sonar Lite Single Beam Echo Sounder (SBES) connected to a DGPS, resulting in detailed bathymetric maps.

Finally a Chirp sub-bottom profiler (Edge Tech 3100 sub bottom profiler / frequency acquisition of 2 kHz to 10 kHz.) survey was parallelly conducted to define the thickness of the dredged sediment deposit. A proprietary software (Discover - EdgeTech and Software

Seismic Unix) was used for the processing and increase the quality of the overlapping sedimentary layers.

All the results were used to compose comparative figures reflecting the geomorphic impact caused by the discharge of dredged material and the potential dispersion of the excavated material.

## **RESULTS AND DISCUSSION**

Open water discharge of dredged sediment is a common practice adopted by the major ports in Brazil. In order to control environmental impacts, evaluating the trajectory and spread of the material to avoid the flux of the sediment to ecological sensible spots is fundamental. If the disposal location for dredged material is not chosen properly for the sediment characteristics, substantial volumes of disposed material could invade surrounding ecologically important sites for aquatic life. Therefore, it is necessary to study the excavated sediment characteristics and evaluate its deposition in order to predict its disposition dynamic in seabed.

The sedimentary package to be excavated were dominated by silt, with a certain portion of clay and sand in the dredged site and the dumping site suggesting as similar the material found in both areas. On average, silt, clay, and sand accounted for 51, 21, and 18% of the material, respectively. Surface sediments mainly consisted of fine materials, indicating weak hydrodynamic conditions in the study area. According to Folk and Ward (1957), sediment in this region was classified into mud, silt, sandy mud, sandy silt, and silty sand. Silt and sandy silt were the most widely distributed sediments, accounting for 72% of all samples.

The pre dredging bathymetric survey revealed a marked gradient oriented E-W. A central spot of sediment accumulation was registered as a result of previous dredging activities that used the same area as dumping site. At north is was detected a significantly steeper and shallower area (E-W orientation) whose pattern seemed to be natural. Even so, another sediment accumulation spot was found in this area. The average depths in the dumping area varied between 47.5m and 58.5m, according to the previous campaigns data.

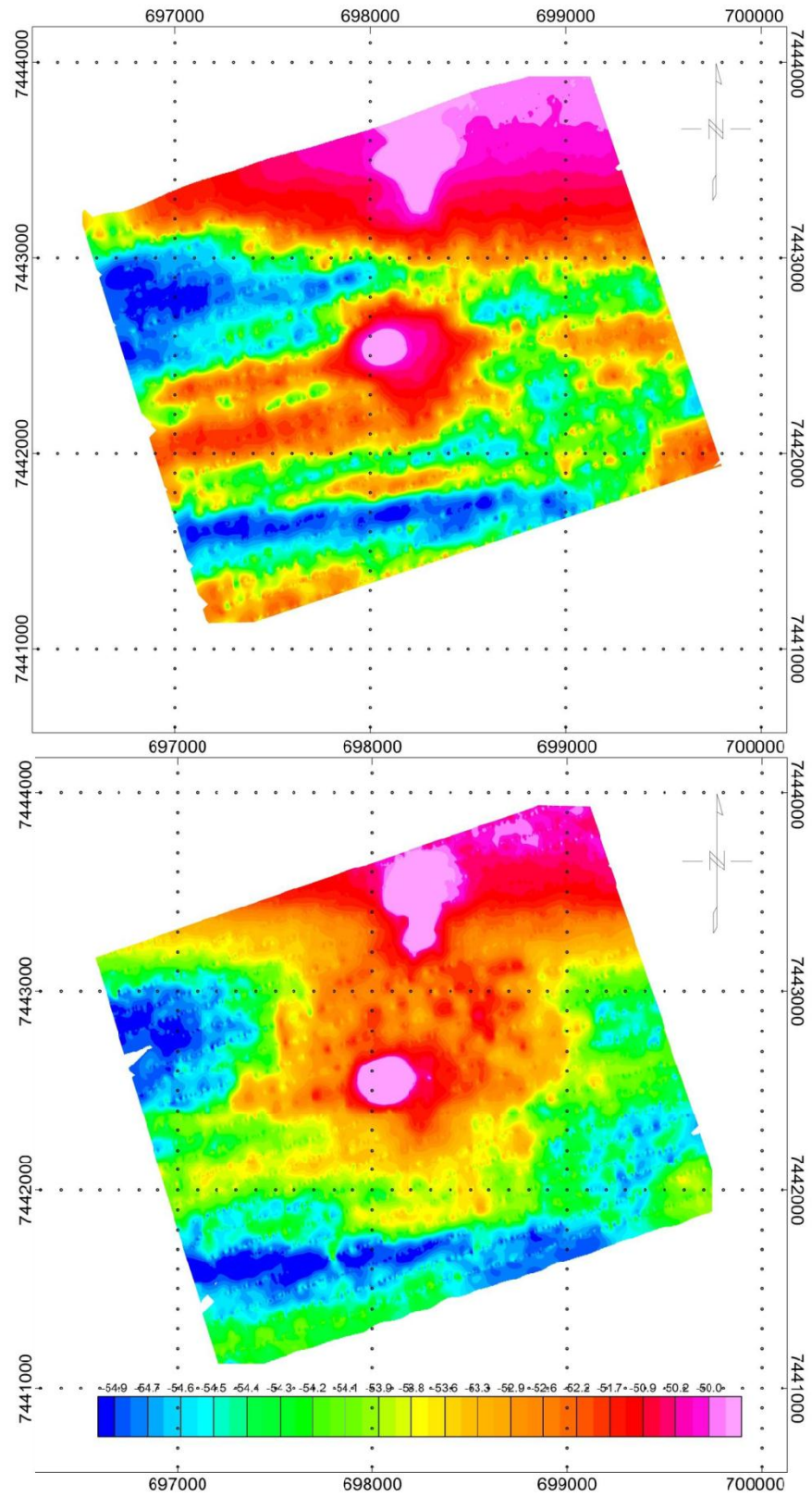
During the second campaign, it was observed a sediment fill between the above mentioned accumulation spots. According to available literature a significant issue, related to the dumping activities of dredged material, is the physical recovery of the dumping place after cessation; so far only sporadically studied. Wienberg and Hebbeln (2005) observed a

regeneration of dunes after the cessation of the dumping activities, while Stronkhorst et al. (2003) observed a recovery of sediment texture at a dumping site in the North Sea, near the port of Rotterdam.

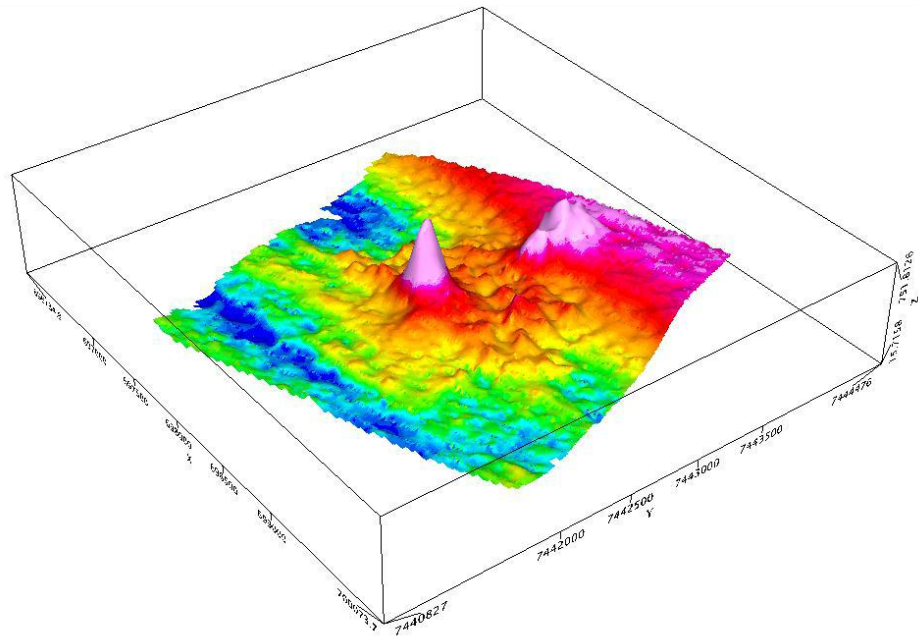
The principal result of excavated sediment dumping on the disposal site was the shallowing of the seabed. According to the present study some areas suffered an average elevation of 3,5m depth. The comparison of the bathymetrical maps of 2016 and 2017 revealed that the study area has undergone major morphological changes (Figure 3). Between both field campaigns, sediments clearly accumulated on the central/north part of the old dumping site, extending the sediment pile on the edge towards the north. Present data suggested that the total area covered by the dumped sediment covered 50% of the total area. Only some deeper sites (>54m) presented the same depth as the previously campaign. The Figure 4 highlights the bathymetry obtained in the second field campaign.

Nowadays it's common sense of local authorities that the regular distribution of dredged material through a wider area tends to be less harmful than the concentration in a more punctual disposal site. Like other anthropogenic activities, the disposal of excavated material can have a negative impact on the marine environment and due to the dynamic nature of the sea, such impacts may not only be restricted to the immediate area of dumping. So, more discussions must be stimulated in order to understand the real negative results in the adjacent ecological communities and the local hydrodynamism by both approaches.

Still according to the Brazilian dredging activity context, the disposition site was chosen by local authorities due its hydrodynamic capacity of dispersion of dredging material. The obtained records on the other hand, revealed dredged sediments spots, proving the high cohesion characteristics of the excavated material, resulting in stable small and medium-term geomorphological features.

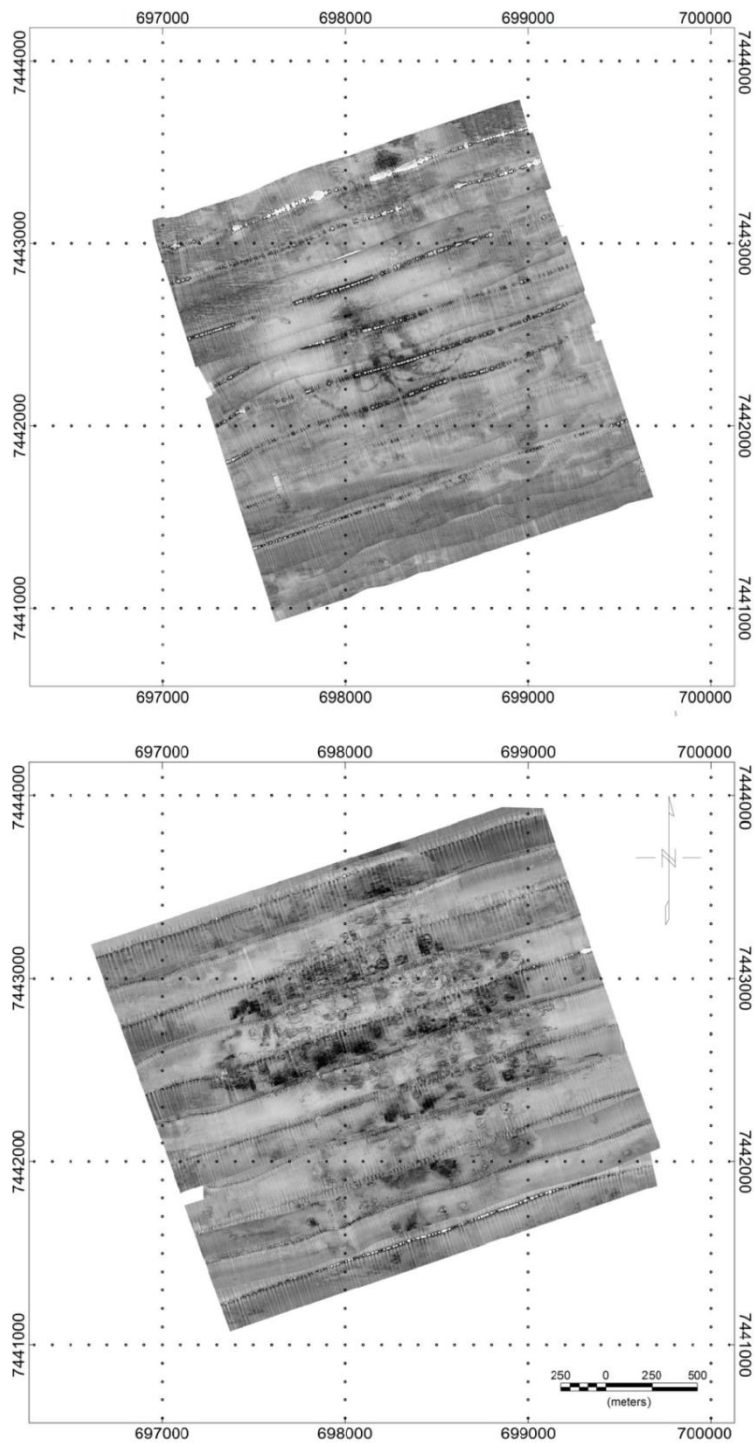


**Figure 3. Bathymetric survey results**



**Figure 4. 3D Bathymetry image from second campaign.**

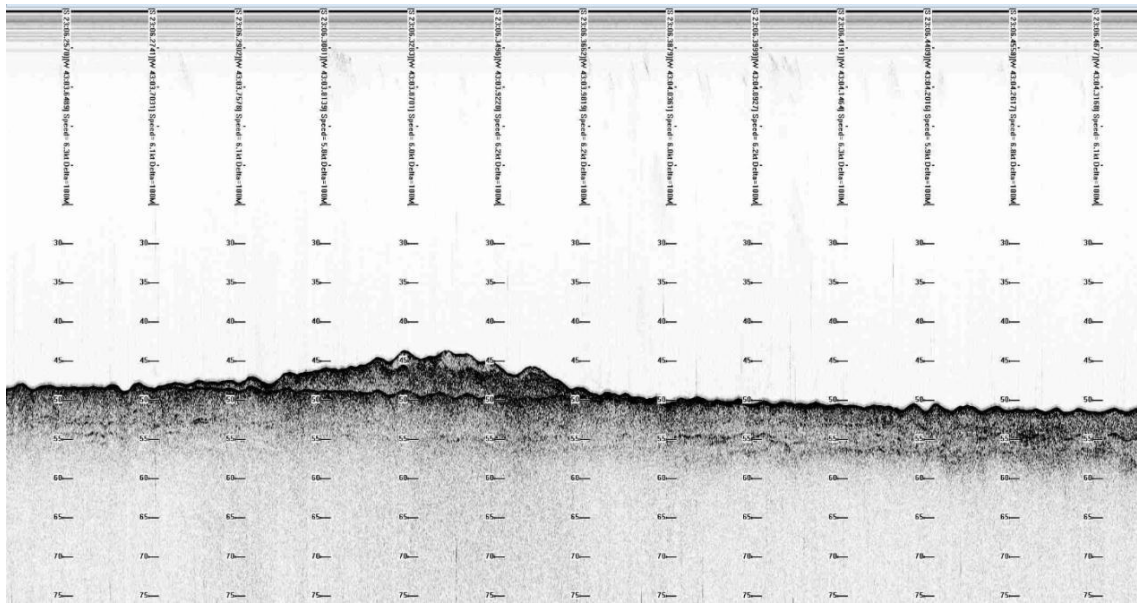
The sonographic mosaic obtained during the first campaign suggested sandy bottom with carbonate shells fragments and compacted sludge character. The pre dredging campaign revealed a pattern nearer to the original, mainly in the central area, evidencing megaripples resulted from de continental shelf hydrodynamism. The obtained records confirmed signals of previous dredging activities represented by the compacted sludge spots that resulted in the higher backscatter (Figure 5) with darker tones. Clearer areas suggested soft sandy mud.



**Figure 5. Sonographic mosaics (A - pre dredging campaign / B - pos dredging capaign)**

The second data collection, on the other hand, revealed deposition of compacted sludge through dark color spots (resulted from higher reflection) along the whole central area of the dumping site, confirming the presence of the excavated sediment. This sedimentation pattern occupied more than 50% of the whole study area.

The strong seismic reflection covering subjugate reflectors confirmed the mud deposits on the bottom surface. The subsuperficial reflectors repeated the same pattern of the sea bottom registered in the first campaign confirming the bottom sedimentation layer with 5m of thickness. Darker spots external to the disposition area suggested sandy sediments with carbonate shells. Seismic data didn't reveal rocky outcrops from the crystalline basement along the whole area.



**Figure 6.** Seismic reflection covering subjugate reflectors record

## CONCLUSIONS

Harbour authorities worldwide are obliged to dredge their major shipping channels, and subsequently to dispose the dredged spoil offshore. On the other hand, the influence of discarded sediments with the local morphology, sedimentology and the recovery after the end of disposal activities is still poorly known. In the present study the associated utilization of singlebeam bathymetrical and backscatter data and core samples, allowed to investigate the consequences of dumping in a dynamic coastal environment on the morphology and sedimentology. In addition, the recovery after cessation of dumping was studied. The dredge-spoil dumping impact investigated was found to be considerable on the geomorphology at the receiving site, this probably related to the disposal approach and the combination of other factors specific to the sediment nature. Dumping has caused a clear depth reduction in most of



the delineated disposal area. The present morphology of the dumping site reflects the way of disposal.

The planning process for future dredging and dredge-spoil dumping operations within the Rio de Janeiro Port should use in consideration sediment characteristics and evaluation about the minor risks offered to the dumping site and its ecology. The question to be answered is "what's less negative: the discharge of sediments in a punctual spot or the dispersion through a pre-defined area?"

Lastly, by giving more importance to pre-planning the impact assessment process, managers can ensure that comprehensive programmes can be carried out, providing rigorous evaluation of impacts. This is particularly important where the works are likely to affect biota in areas which have been designated as having high conservation value.

### **Acknowledgements**

The financing for this project was promoted by SEP (Secretaria dos Portos da República). The authors are as well thankful the geology department/LAGEMAR at UFF (Universidade Federal Fluminense).

### **REFERENCES**

- ALVES, M.A., 1992, Correntes de maré e inerciais na plataforma continental ao largo de Ubatuba (SP). Master Dissertation, Instituto Oceanográfico da 725 Universidade de São Paulo (USP), 162 pp. São Paulo, Brazil (in Portuguese).
- COLE, R.G., O'SHEA, S., GLASBY, C.J., IMMENGA, D., 1999b. Biological effects of disposal of marina channel dredgings in the shallow subtidal of a fetch-limited embayment. In: Proceedings of XIV Austral-Asian Coastal and Engineering Conference and VII Austral-Asian Port and Harbor Conference, pp. 125–128.
- DU FOUR I, VAN LANCKER V (2008) Changes of sedimentological patterns and morphological features due to the disposal of dredge spoil and the regeneration after cessation of the disposal activities. *Mar Geol* 255:15–29
- FEEMA. 1990. Projeto de recuperação gradual da Baía de Guanabara, Vol. 1. Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, 203p
- Griffith et al., 2009

- HARVEY, M., GAUTHIER, D. & MUNRO, J., 1998, Temporal changes in the composition and abundance of the macro-benthic invertebrate communities at dredged material disposal sites in the Anse à Beaufils, Baie des Charleux, eastern Canada. *Mar. Poll. Bull.*, 36(1): 41-55.
- Kjerfve, B., Ribeiro, C.H.A., Dias, G.T.M., Filippo, A.M. & Quaresma, V. S. (1997). Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. *Continental Shelf Research*, 17(13): 1609-1643.
- MABOYD; TRULL, 2007
- Monge-Ganuzas, M., Cearreta, A., Evans, G., 2013. Morphodynamic consequences of dredging and dumping activities along the lower Oka estuary (Urdaibai Biosphere Reserve, southeastern Bay of Biscay, Spain). *Ocean Coast. Manag.* 77, 40–49
- Van Maren, D.S., Van Kessel, T., Cronin, K., Sittoni, L., 2014. The impact of channel deepening and dredging on estuarine sediment concentration. *Continental Shelf Research* 95, 1–14.
- WIENBERG, C. AND HEBBELN, D., 2005. Impact of dumped sediments on subaqueous dunes, outer Weser Estuary German Bight, Southeastern North Sea. *Geo-Mar. Lett.* 25, 43-53.
- WIENBERG, C.; BARTHOLOMA, A. Acoustic seabed classification in a coastal environment (outer Weser Estuary, German Bight)-a new approach to monitor dredging and dredge spoil disposal. *Cont. Shelf Res.*, v. 25, p. 1143-1156, 2005.