

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE SEDIMENTOS
COMPATÍVEIS NA PLATAFORMA CONTINENTAL
INTERNA PARA RECUPERAÇÃO DE PRAIAS ENTRE AS
CIDADES DE NITERÓI E MACAÉ– RJ**

JULIO FERNANDES DE OLIVEIRA

Porto Alegre – 2012

JULIO FERNANDES DE OLIVEIRA

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE SEDIMENTOS
COMPATÍVEIS NA PLATAFORMA CONTINENTAL
INTERNA PARA RECUPERAÇÃO DE PRAIAS ENTRE AS
CIDADES DE NITERÓI E MACAÉ- RJ**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Luiz Emílio Sá Brito de Almeida

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Dieter Carl Ernst Heino Muehe

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza – Instituto de Geociências, Universidade
Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Nelson L.S. Gruber – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio
Grande do Sul

Prof. Dr. Flávia Moraes Lins-de-Barros – Instituto Multidisciplinar, Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro

Dissertação de Mestrado apresentada como
requisito parcial para a obtenção do Título de
Mestre em Geociências.

Porto Alegre – 2012

Oliveira, Julio Fernandes de

Identificação de Áreas de Sedimentos Compatíveis na Plataforma Continental Interna para Recuperação de Praias entre as Cidades de Niterói e Macaé – RJ / Julio Fernandes de Oliveira. – Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2012.

[53f.] il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, RS - BR, 2012.

Orientação: Prof. Dr. Luiz Emílio S.B. de Almeida

Co-Orientação: Prof. Dr. Dieter Muehe

1. Distribuição Granulométrica. 2. Plataforma Continental Interna.
3. Alimentação Artificial. I. Título.

Catálogo na Publicação
Biblioteca Geociências - UFRGS
Alexandre Ribas Semeler CRB 10/1900

RESUMO:

A faixa urbanizada da orla na costa sul – oriental e leste do Estado do Rio de Janeiro sofre constantemente com a destruição de calçadas, ruas, muros e casas em eventos oceanográficos extremos. Essas construções, na maior parte dos casos estão localizadas muito próximas ao limite com a praia, dentro da faixa de não edificação prevista no Projeto Orla do Ministério do Meio Ambiente. A região apresenta forte crescimento populacional com principais atividades econômicas associadas à exploração de petróleo nas cidades de Macaé e Rio das Ostras, ao turismo da Região dos Lagos, além do centro urbano de Niterói já consolidado. A identificação de jazidas de material semelhante ao original para recuperação de praias como opção de mitigação, representa uma alternativa para manter a função de proteção exercida pelas mesmas e de seu uso para o lazer. Nesse sentido, este estudo tem como objetivo analisar a compatibilidade de sedimentos superficiais da plataforma continental interna com as areias de praias urbanas, situadas entre as cidades de Niterói e Macaé – RJ, através da comparação de parâmetros estatísticos da distribuição granulométrica das areias desses dois ambientes. Para a caracterização sedimentar das praias alvo, foram coletadas amostras da face praial de 16 praias situadas nos principais núcleos urbanos deste segmento do litoral fluminense. Os dados granulométricos dos sedimentos superficiais da antepraia e plataforma continental interna entre Niterói e Macaé são secundários, de campanhas oceanográficas pretéritas. Tais dados foram filtrados e digitalizados, somando um total de aproximadamente 1200 pontos de coleta que vão desde a barra leste da Baía da Guanabara até a Restinga de Jurubatiba. Onze áreas granulometricamente compatível com as diferentes praias da região de estudo foram identificadas próximo à isóbata de -20 m ao largo da costa de Niterói e Maricá, de Cabo Frio e Búzios e entre Rio das Ostras e Macaé, representando potenciais estoques de sedimento para utilização em projetos de recuperação dessas praias.

Palavras-Chave: Distribuição Granulométrica, Plataforma Continental Interna, Alimentação Artificial

ABSTRACT:

The urbanized coastline of east and south-east littoral of the state of Rio de Janeiro suffers constantly with the destruction of houses, walls and streets in extreme oceanographic events. These constructions, in most cases are located very close to the limit with the beach, inside of the range of no building suggest by Projeto Orla – Ministry of Environment. This region has strong population growth with major economic activities associated with oil exploration in the city of Macae and Rio das Ostras, industry of tourism in Lakes Region and the urban center of Niteroi already consolidated. The identification of sand deposits with similar granulometric characteristics to the native material to nourishment project as a mitigation option, represented an alternative to maintain the protective function of the beach and use for recreation. The objective of this study is analyze the compatibility of surface sediments of the inner continental shelf and sands of urban beaches, located between the cities of Niteroi and Macae – RJ, through of comparison the statistical parameters of size distribution of the sands of these two environments. For the characterization of sedimentary beaches were sampled from the beach face of 16 beaches located in the major urban centers of this segment of the coastline of Rio de Janeiro's state. The granulometric data of surface sediments of the inner continental shelf between Niteroi an Macae are secondary from preterits oceanographic campaigns. These datas were filtered and digitized with a total of approximately 1200 collection points ranging from east bar of Guanabara Bay to the Restinga de Jurubatiba. Eleven areas granulometrically compatible with the different beaches were identified near the -20 meters isobaths near the coast of Niteroi and Marica, Cabo Frio and Buzios and between Rio das Ostras and Macae, representing a potential borrow areas for use in nourishment projects in this region.

Keywords: Granulometric Parameters, Inner Continental Shelf, Beach Nourishment

SUMÁRIO:

| | |
|--|----|
| 1- INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2- ÁREA DE ESTUDO..... | 4 |
| 3- METODOLOGIA..... | 6 |
| 4- COMPATIBILIDADE ENTRE SEDIMENTOS NATURAIS DA PRAIA E DA JAZIDA..... | 8 |
| 5- RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 14 |
| 5.1- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO DIÂMETRO MÉDIO DOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS NA PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA..... | 14 |
| 5.2 - GRANULOMETRIA DAS PRAIAS ALVO E DE ÁREAS <i>OFFSHORE</i> COM POTENCIAL EXPLORATÓRIO..... | 16 |
| 5.21- NITERÓI – MARICÁ..... | 16 |
| 5.22 – ARRAIAL DO CABO – CABO FRIO – BÚZIOS..... | 23 |
| 5.23 – RIO DAS OSTRAS..... | 29 |
| 5.24 – MACAÉ..... | 33 |
| 6- CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 40 |
| 7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 42 |

LISTA DE FIGURAS:

- FIGURA 1:** Praia de Copacabana antes (direita) e após (esquerda) o projeto de alimentação artificial (Fonte: Notas de aula TOLDO Jr.).....pág.2
- FIGURA 2:** Localização da área de estudo.....pág.4
- FIGURA 3:** Gráfico de isolinhas para cálculo do Fator de Enchimento ((adaptado de James, 1975; USACE , 1984).....pág.10
- FIGURA 4:** Perfis teóricos após preenchimento com sedimentos de granulometria mais grossa (a), igual (b) e mais final (c) do que o nativo. (CAMPBELL , 1990).....pág.11
- FIGURA 5:** Perfil esquemático representando o deslocamento após preenchimento com sedimento semelhante ao original da praia. (CAMPBELL , 1990).....pág.12
- FIGURA 6:** Mapeamento do diâmetro médio dos sedimentos superficiais da plataforma continental interna entre Niterói e Arraial do Cabo.....pág.14
- FIGURA 7:** Mapeamento do diâmetro médio dos sedimentos superficiais da plataforma continental interna entre Cabo Frio e Macaé.....pág.15
- FIGURA 8:** Destruição de muro na praia de Piratininga em Niterói após ressaca de 2001 (MUEHE, 2011).....pág.16
- FIGURA 9:** Destruição de casas na orla da praia de Barra de Maricá após ressaca de 2001 (LINS-DE-BARROS, 2005).....pág.17
- FIGURA 10:** Detalhe de áreas com potencial para exploração ao largo do litoral de Niterói e Maricá.....pág.19
- FIGURA 11:** Gráfico das médias (Mz) e desvio padrão (Dp) dos sedimentos da praia e da área 1 na plataforma continental interna.....pág.20
- FIGURA 12:** Gráfico das médias (Mz) e desvio padrão (Dp) dos sedimentos da praia e da área 2 na plataforma continental interna.....pág.20
- FIGURA 13:** Gráfico das médias (Mz) e desvio padrão (Dp) dos sedimentos da praia e da área 3 na plataforma continental interna.....pág.21
- FIGURA 14:** Gráfico das médias (Mz) e desvio padrão (Dp) dos sedimentos da praia e da área 4 na plataforma continental interna.....pág.21
- FIGURA 15:** Gráfico das médias (Mz) e desvio padrão (Dp) dos sedimentos da praia e da área 5 na plataforma continental interna.....pág.22

| | |
|---|--------|
| FIGURA 16: Gráfico das médias (Mz) e desvio padrão (Dp) dos sedimentos da praia e da área 6 na plataforma continental interna..... | pág.22 |
| FIGURA 17: Perfil topo-batimétrico levantado através de nivelamento topográfico em junho de 2010. Prainha de Arraial do Cabo (meio da praia)..... | pág.23 |
| FIGURA 18: Casas dentro do perfil ativo da praia. Prainha de Arraial do Cabo (Fonte:Arquivo pessoal)..... | pág.23 |
| FIGURA 19: Calçadão destruído após evento extremo em junho de 2010. Praia do Forte em Cabo Frio. (Fonte: Arquivo pessoal)..... | pág.24 |
| FIGURA 20: Calçadão destruído após evento extremo em junho de 2010. Praia do Forte em Cabo Frio. (Fonte: Arquivo pessoal)..... | pág.24 |
| FIGURA 21: Perfil topo-batimétrico levantado através de nivelamento topográfico em junho de 2010. Praia de Manguinhos em Búzios..... | pág.25 |
| FIGURA 22: Muro dentro do perfil ativo da praia. Praia de Manguinhos, Búzios. (Fonte: Arquivo pessoal)..... | pág.25 |
| FIGURA 23: Perfil topo-batimétrico levantado através de nivelamento topográfico em junho de 2010. Praia da Ferradura, Búzios..... | pág.26 |
| FIGURA 24: Muros dentro do perfil ativo da praia. Praia da Ferradura, Búzios. (Fonte: Arquivo pessoal)..... | pág.26 |
| FIGURA 25: Detalhe de áreas com potencial para exploração ao largo do litoral de Cabo Frio e Búzios..... | pág.27 |
| FIGURA 26: Gráfico das médias (Mz) e desvio padrão (Dp) dos sedimentos da praia e da área 7 na plataforma continental interna..... | pág.28 |
| FIGURA 27: Gráfico das médias (Mz) e desvio padrão (Dp) dos sedimentos da praia e da área 8 na plataforma continental interna..... | pág.28 |
| FIGURA 28: Casas destruídas na praia da Tartaruga, Rio das Ostras. (Fonte: Arquivo pessoal)..... | pág.29 |
| FIGURA 29: Sobreposição de perfis topográficos levantados através de nivelamento topográfico em agosto de 2009 e junho de 2010. Praia do Abricó, Rio das Ostras..... | pág.30 |
| FIGURA 30: Praia do Abricó em Rio das Ostras em 1999 (Fonte: LINS-DE-BARROS, 2010) | pág.30 |
| FIGURA 31: Praia do Abricó em Rio das Ostras em 2010 (Fonte: Arquivo pessoal)..... | pág.30 |

| | |
|---|--------|
| FIGURA 32: Detalhe de área com potencial para exploração ao largo do litoral de Rio das Ostras..... | pág.31 |
| FIGURA 33: Gráfico das médias (Mz) e desvio padrão (Dp) dos sedimentos da praia e da área_9 na plataforma continental interna..... | pág.32 |
| FIGURA 34: Perfil topográfico levantado através de nivelamento topográfico em junho de 2010. Praia dos Cavaleiros, Macaé..... | pág.33 |
| FIGURA 35: Calçadão da praia dos Cavaleiros em Macaé (Fonte:Arquivo pessoal)..... | pág.33 |
| FIGURA 36: Detalhe de áreas com potencial para exploração ao largo do litoral de Macaé..... | pág.34 |
| FIGURA 37: Gráficos das médias (Mz) e desvio padrão (Dp) dos sedimentos da praia e da área 10 na plataforma continental interna..... | pág.35 |
| FIGURA 38: Gráficos das médias (Mz) e desvio padrão (Dp) dos sedimentos da praia e da área 11 na plataforma continental interna..... | pág.35 |

LISTA DE TABELAS:

| | |
|---|--------|
| TABELA 1: Classificação baseada no tamanho da partícula expressa pelo valor da média ou mediana em ϕ . (WENTWORTH, 1922)..... | pág.6 |
| TABELA 2: Grau de selecionamento a partir do Desvio Padrão em ϕ . (FOLK , 1968)..... | pág.7 |
| TABELA 3: Classificação textural das praias entre Niterói e Arraial do Cabo, volume de areia compatível aproximado necessário para avanço de 50 metros em direção ao mar e a extensão longitudinal do projeto..... | pág.36 |
| TABELA 4: Classificação textural das praias entre Cabo Frio e Macaé, volume de areia compatível aproximado necessário para avanço de 50 metros em direção ao mar e a extensão longitudinal do projeto..... | pág.37 |
| TABELA 5: Classificação textural das áreas com potencial de exploração na plataforma continental interna e o volume aproximado do pacote para espessura igual a 1 metro..... | pág.38 |
| TABELA 6: Fator de Enchimento para sedimentos das praias-alvo e das áreas fontes..... | pág.39 |

1. INTRODUÇÃO

A faixa urbanizada da orla na costa sul – oriental e leste do estado do Rio de Janeiro, sofre constantemente com a destruição de calçadas, ruas, muros e casas em eventos oceanográficos extremos. Essas construções, na maior parte dos casos, estão localizadas muito próximas ao limite com a praia, dentro da faixa de não edificação prevista no Projeto Orla do Ministério do Meio Ambiente.

A região apresenta forte crescimento populacional com suas principais atividades econômicas associadas à exploração de petróleo nas cidades de Macaé e Rio das Ostras, ao turismo da Região dos Lagos, além do centro urbano de Niterói já consolidado.

Segundo Muehe (2011), a ocupação da orla vem se fazendo com diferentes graus de intensidade, em geral sem obedecer a uma distância segura em relação à praia, provocando perda de bens materiais durante tempestades extremas, um risco que aumenta potencialmente em vista das mudanças climáticas previstas para as próximas décadas

Martins & Toldo Jr. (2006) sugerem que cada centímetro de elevação do nível do mar é acompanhado por uma perda de cerca de um metro da praia, sendo que cerca de 70% das praias do mundo parecem estar em retração.

Para controlar ou mitigar problemas decorrentes da erosão da linha de costa em áreas urbanizadas, existem basicamente três alternativas segundo Campbell *et al.* (1990); recuar as ocupações, implementar métodos estruturais de engenharia costeira (obras duras) e adicionar sedimento compatível ao meio (alimentação artificial). A última opção de manter a praia poderá oferecer benefícios com maior área para recreação, proteção mais efetiva da costa e outros fatores sócio-econômicos, como valorização imobiliária da área litorânea e aumento do turismo no local.

As fontes dos sedimentos utilizados em aterros hidráulicos são provenientes principalmente de dragagens de canais de maré, bancos de maré vazante e de depósitos na plataforma continental, além de jazidas continentais utilizadas em aterros mecânicos (DEAN, 2002). Ainda segundo o mesmo autor, jazidas *offshore* representam 95% das fontes utilizadas nesse tipo de projeto.

A identificação de depósitos de material semelhante ou levemente mais grosso do que o original para recuperação de praias como opção de mitigação, representa uma alternativa estratégica para manter a função de proteção exercida pelas mesmas e de seu uso para o lazer.

No Brasil, a praia de Copacabana foi local de um projeto de alimentação artificial que virou referência no país e no mundo (Fig1). Desenvolvido pelo Laboratório Nacional de

Engenharia Civil de Lisboa (LNEC) e realizado em parceria com a Superintendência de Urbanização e Saneamento do Estado da Guanabara nos anos de 69 e 70, a praia teve sua faixa de areia aumentada em 100 metros aproximadamente. Dois anos de coleta de dados e observações de campo permitiram o desenvolvimento de um modelo em escala reduzida. Projetos semelhantes foram realizados posteriormente em diversos estados litorâneos do país. Os dados dos levantamentos preliminares na praia de Copacabana mostraram que a praia recuava cerca de 30 metros em situações de tempestade e os sedimentos nativos da praia foram classificados em areias médias (predominantemente) e finas (VERA-CRUZ, 1972).

Sendo assim, foram identificados dois depósitos sedimentares de material com diâmetro médio um pouco maior que os originais da praia, que mais tarde viriam a ser explorados: Uma jazida próxima à barra oeste da baía da Guanabara, ao largo da praia Vermelha da Urca entre as isóbatas de -15m e -20 m onde foram dragados cerca de 2 milhões de metros cúbicos de sedimentos, há uma distância de 4,5 Km da praia de Copacabana e despejado na parte submarina da praia entre as profundidades de -4 m e -6 m, para serem retrabalhadas naturalmente pelas ondas; e uma outra jazida localizada dentro da enseada de Botafogo, próxima à profundidade de -13 m onde 1,5 milhões de metros cúbicos de areia, seriam dragados da enseada e bombeados para seis pontos diferentes da parte emersa da praia de Copacabana, através de tubulações de aproximadamente 5 Km de extensão (VERA-CRUZ, 1972).



Figura 1: Praia de Copacabana antes (direita) e depois (esquerda) do projeto de alimentação artificial (Fonte: Notas de Aula TOLDO Jr.).

Desde então a praia de Copacabana é palco de diversos eventos de exposição mundial, sendo talvez, a praia mais “famosa” do mundo. Após algumas realimentações, o arco praiial manteve-se com larga faixa de areia (somente no canto oeste se torna mais estreita). Apenas em situações oceanográficas extremas o nível d’água atinge o calçadão causando pequenos transtornos. Passados 40 anos após o início da intervenção costeira, pode-se dizer que o projeto foi bem sucedido, ainda que seu perfil praiial tenha sido alterado devido à utilização de sedimentos mais grossos que o nativo. A praia tornou-se mais inclinada e houve uma diminuição da extensão da zona de surfe e do número de bancos submarinos (Fig.1), acarretando em maior perigo ao banho de mar e piora nas condições para a prática do surfe.

Para ser explorada, o ideal é que a jazida *offshore* deva estar situada não muito distante da praia a ser recuperada para minimizar os custos do projeto, porém em profundidades superiores à profundidade de fechamento para que não interfira na propagação das ondas e nas condições hidrodinâmicas do perfil submarino ativo. O limite submarino sugerido por Muehe (2004) para a orla é a profundidade de -10 m, pois estaria próximo à profundidade de fechamento de praias expostas, porém com alguma flexibilidade em certos casos, dependendo do clima de ondas, da geomorfologia e da característica dos sedimentos.

Campbell *et al.* (1990) elencam alguns fatores que limitam a exploração de jazidas sedimentares *offshore*; como a localização de sedimentos compatíveis; presença de silte, argila; a profundidade do local; fatores ambientais; tamanho bruto da jazida; distância da área do projeto e potenciais impactos nos processos litorâneos decorrentes da exploração da jazida. Dean (2002) acrescenta aos principais desafios, além da busca por um recurso esgotável e de custos elevados, problemas de jurisdição da plataforma continental (a que se refere como *sand wars*).

Nesse sentido, este estudo tem como objetivo analisar a compatibilidade de sedimentos superficiais da plataforma continental interna com as areias de praias situadas entre as cidades de Niterói e Macaé – RJ, através da comparação do diâmetro médio e desvio padrão das distribuições granulométricas desses dois ambientes. Para tanto, foram mapeadas e identificadas potenciais áreas que poderiam vir a suprir necessidades futuras de sedimentos para alimentação de praias urbanas com problemas de erosão.

2. ÁREA DE ESTUDO

O litoral do estado do Rio de Janeiro se alinha, grosso modo, ao longo de dois segmentos distintos, formando o cabo Frio o vértice destes segmentos (MUEHE, 2006). Portanto nesse trabalho, optou-se por dividir o litoral estudado em dois setores: Da barra leste da baía da Guanabara até Arraial do Cabo e de Arraial do Cabo até Macaé (Fig.2).

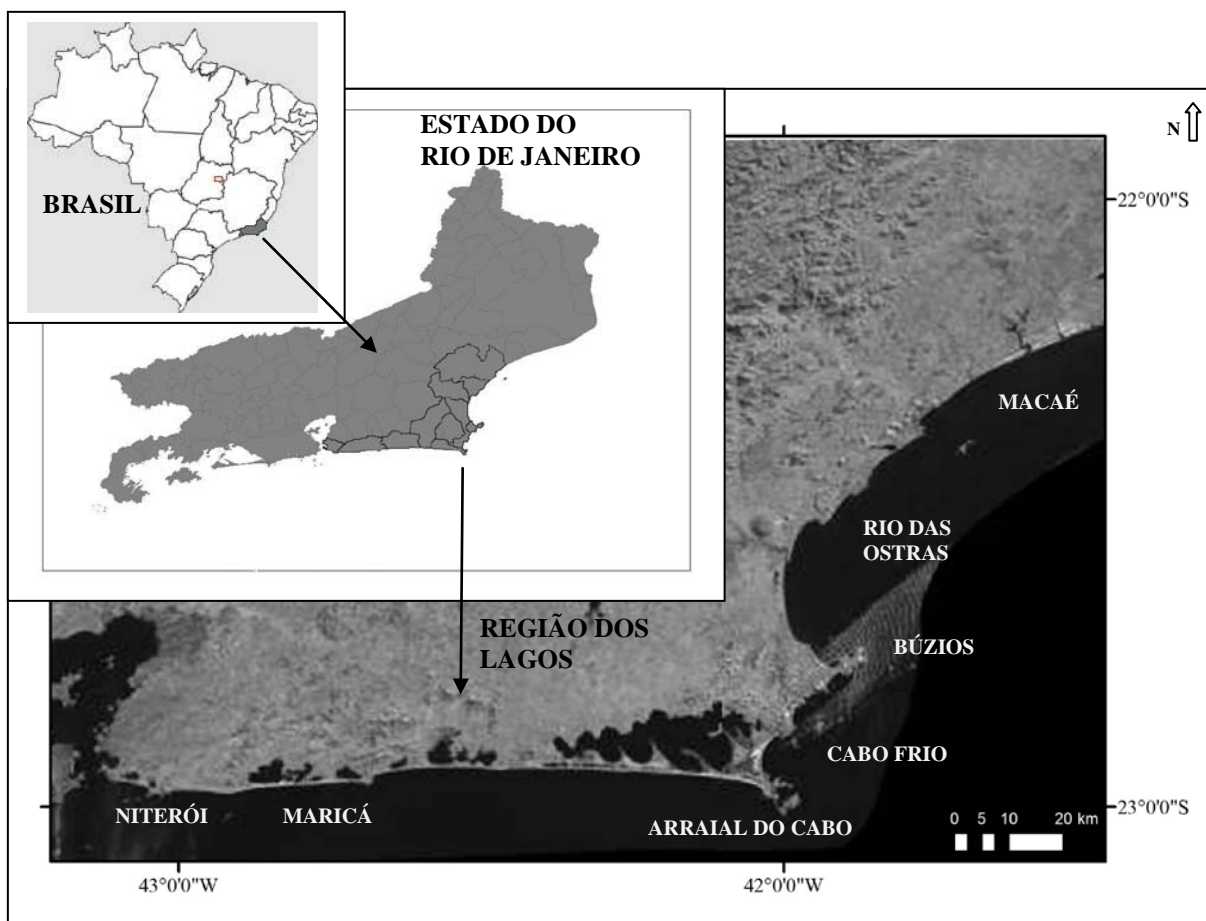


Figura 2: Imagem de satélite Landsat com as praias de estudo. No detalhe o estado do Rio de Janeiro e a área de estudo destacada.

O primeiro setor possui uma orientação leste - oeste que o torna exposto às ondas de tempestade provenientes do quadrante sul (variando de sudeste a sudoeste) Em sua porção ocidental próximo a desembocadura da baía da Guanabara em Niterói, os maciços costeiros se aproximam da costa formando praias separadas por promontórios rochosos.

Constituindo uma área rebaixada de falha que rompeu o maciço costeiro, a depressão assim formada abriu uma ligação entre o oceano e o graben da Guanabara e serviu de convergência para o escoamento da rede de drenagem fluvial oriunda da escarpa da serra do

Mar e do reverso do maciço costeiro, com seus baixos cursos afogados pela transgressão holocênica (MUEHE & VALENTINI, 1998).

Em direção ao cabo Frio a planície costeira se torna mais larga. Caracteriza-se por possuir extensos arcos praias associados a cordões litorâneos ou barreiras arenosas (*beach barriers*) que, frequentemente, ocorrem em forma de duplos cordões dispostos paralelamente entre si e separados por uma depressão estreita (MUEHE, 2006). Um conjunto de lagunas se desenvolveu à retarguada dos cordões litorâneos, barrando praticamente todo o aporte continental que iria em direção ao mar.

Estes cordões imprimiram o aspecto retificado a este litoral, que entre o cabo Frio e a baía de Guanabara formam uma linha quase contínua, apenas interrompida pelos promontórios rochosos que separam as diversas baixadas costeiras (MUEHE & VALENTINI, 1998). Ainda segundo os mesmos autores, a morfologia dos cordões repete padrão típico encontrado em muitos pontos do litoral sul e sudeste do país, estando o cordão mais interiorizado associado à última transgressão pleistocênica e o cordão frontal à transgressão pós glacial.

O segundo compartimento vai desde o cabo Frio até a cidade de Macaé, e possui uma orientação preferencial aproximadamente de nordeste - sudoeste, sendo uma costa mais exposta às ondas de tempo bom, vindas do quadrante leste. Ondas de tempestades provenientes do quadrante sudeste também atingem diretamente certas localidades.

Por ser um litoral recortado com a presença de penínsulas e embaixamentos, como Búzios e Rio das Ostras, apresenta diferente exposição às ondas, possuindo trechos mais protegidos e outros mais expostos. Neste setor, alternam-se planícies costeiras de cristas de praia e promontórios rochosos (MUEHE 2006).

O trecho entre o cabo Frio e o cabo Búzios é caracterizado pela ausência de desembocaduras fluviais, sendo o canal do Itajuru a única conexão entre o oceano e o continente, neste caso a laguna de Araruama (MUEHE & VALENTINI, 1998). Já do cabo Búzios até Macaé há um maior aporte fluvial, através dos rios São João, Una e Macaé, além da influência do Paraíba do Sul mais ao norte, com aporte primordialmente de sedimentos lamosos (MUEHE & VALENTINI, 1998).

3. METODOLOGIA

Para a caracterização sedimentar das praias alvo, foram coletadas amostras da face de praia de 16 arco-praias situados nos principais núcleos urbanos do trecho do litoral estudado. A análise da distribuição granulométrica, segundo a escala de Wentworth (1922) por peneiramento a seco em intervalos de peneira de 0,5 *fi* foi realizada após a lavagem e secagem para retirada dos sais solúveis.

O teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) foi determinado através da eliminação do mesmo pelo ataque com ácido clorídrico a 20%. As análises granulométricas foram realizadas antes e após a queima do material biodetrítico, porém foram utilizados apenas os valores antes da queima do CaCO_3 .

Os parâmetros estatísticos (média, mediana, desvio padrão, assimetria e curtose) foram calculados segundo métodos de Folk e Ward (1957) pelo *software ANASED 5.0*. Para classificação textural das praias foram utilizados o tamanho médio dos grãos (Tab.1) e o desvio padrão (Tab.2) para a determinação do grau de selecionamento (FOLK, 1968), ambos expressos em *fi*.

| Classificação | fi | mm |
|----------------------|-----------|-----------------|
| Areia Muito Grossa | -1 a 0 | 2 a 1 |
| Areia Grossa | 0 a 1 | 1 a 0,5 |
| Areia Média | 1 a 2 | 0,5 a 0,25 |
| Areia Fina | 2 a 3 | 0,25 a 0,125 |
| Areia Muito Fina | 3 a 4 | 0,125 a 0,0625 |
| Silte | 4 a 8 | 0,0625 a 0,0039 |
| Argila | >8 | <0,0039 |

Tabela 1: Classificação baseada no tamanho da partícula expressa pelo valor da média ou mediana em *fi*. (WENTWORTH, 1922)

| Classificação | Desvio Padrão (fi) |
|---------------------------|---------------------------|
| Muito bem Selecionado | <0,35 |
| Bem Selecionado | 0,35 – 0,50 |
| Moderadamente Selecionado | 0,50 – 1 |
| Mal Selecionado | 1 – 2 |
| Muito mal Selecionado | >2 |

Tabela 2: Grau de selecionamento a partir do Desvio Padrão em fi. (FOLK, 1968)

Os dados granulométricos dos sedimentos superficiais da antepraia e plataforma continental interna entre Niterói e Macaé são secundários, de campanhas oceanográficas pretéritas (ALBINO, 1994; FERNANDEZ & MUEHE, 1995; MACHADO, 2010; MUEHE, 1989; MUEHE & CARVALHO, 1993; SAAVEDRA & MUEHE, 1993; SILVA, 1985; SOUZA, 1991). Tais dados foram filtrados e digitalizados, somando um total de aproximadamente 1200 pontos de coleta que vão desde a barra leste da Baía da Guanabara até a Restinga de Jurubatiba no norte fluminense.

O mapeamento e a interpolação dos dados do diâmetro médio dos grãos foram processados no programa *Surfer 9.0 (Golden Software Inc.)*, pelo método de *Krigagem*. Tal método de interpolação é amplamente utilizado para representar dados geológicos, pois segundo Landim (2003) torna-se viável a melhor estimativa possível para locais não amostrados.

Em seguida, foram delimitadas áreas na plataforma que representam potenciais estoques sedimentares para utilização em futuros projetos de recuperação das praias da região. Foram considerados pacotes sedimentares de 1 metro de espessura, como uma primeira aproximação conservadora da estimativa do volume total de cada sítio.

4. COMPATIBILIDADE ENTRE SEDIMENTOS NATURAIS DA PRAIA E DA JAZIDA

Segundo Dean (2002), mais de 95% dos sedimentos utilizados em projetos de engordamento de praia são provenientes de jazidas *offshore*. Este mesmo autor classifica uma jazida *offshore* como ideal, quando está localizada paralela e próxima ao litoral que será recuperado e com uma espessura do pacote disponível de no mínimo de 1 a 2 metros para ser dragado.

Para dragagem, áreas extensas e rasas são mais indicadas que áreas pequenas e profundas, para evitar a formação de “painéis”, que poderiam afetar o regime energético de ondas na área (MENEZES 2002), além de alterar o fluxo hidrodinâmico de transporte e deposição de sedimentos no local. Outro possível impacto ambiental decorrente de um projeto de alimentação de praia é o aumento da turbidez da coluna d’água no local da extração e também próximo ao local de aterro, devido à presença de lama (silte e argila) junto ao material a ser dragado.

De uma maneira geral a compatibilidade de sedimentos em um projeto de alimentação artificial se dá pelo grau em que o material da jazida irá se comportar comparado ao original da praia (DEAN, 1974). Parâmetros estatísticos da distribuição granulométrica são utilizados para avaliar a compatibilidade entre sedimentos da jazida e o natural da praia, porém outros fatores também são levados em conta quando se compara o sedimento original da praia e da jazida para avaliar sua adequação ao projeto como a cor, a percentagem de finos e de material carbonático (DEAN, 2002).

Vários métodos são utilizados para quantificar a compatibilidade entre sedimentos. Alguns se baseiam somente no diâmetro médio ou a mediana dos grãos da área de empréstimo (jazida) e da praia, e outros utilizam ainda outros parâmetros estatísticos da textura desses dois ambientes, como o desvio padrão (grau de selecionamento) (DEAN, 2002). As propriedades granulométricas da jazida influenciam diretamente na declividade da praia recuperada, na taxa do material que será erodido e como irá responder às tempestades (USACE, 1984)

Duas abordagens são comumente utilizadas para avaliar a compatibilidade entre sedimentos originais da praia e da jazida e determinar volumes aproximados necessário ao projeto a partir de dados da distribuição granulométrica desses dois ambientes: o cálculo do fator de enchimento (Ra) e aplicação de conceitos referentes ao perfil de equilíbrio.

Krumbein & James (1965) apresentaram o conceito do fator de enchimento, que mais tarde Dean (1974), James (1975) e USACE (1984) incorporaram e desenvolveram novas metodologias para cálculo do mesmo.

O Fator de Enchimento (Ra) calcula o volume a ser adicionado para suprir a perda de sedimentos mais finos que o nativo da praia, que serão remobilizados (KRUMBEIN & JAMES, 1965; USACE, 1984). Tal método é baseado na premissa que o material nativo da praia esteja compatível com as condições ambientais do local e calcula o volume necessário de material da jazida para produzir um metro cúbico de praia estável compatível com o sedimento nativo do local (USACE, 1984).

Segundo Menezes (2004) a partir de informação verbal fornecida pelo engenheiro Thomas Campbell em julho de 2002, valores de fator de enchimento superiores a 2, normalmente inviabilizam o uso do sedimento em projetos de alimentação de praia.

Esse índice multiplicador é obtido a partir da relação entre os parâmetros estatísticos - média e desvio padrão - das distribuições granulométricas tanto do material original da praia quanto da jazida (nesse estudo utilizou-se os valores médios das médias e desvio padrão das amostras sedimentares da jazida). O gráfico de isolinhas (Fig.3) apresenta a relação entre as razões $\sigma_{\phi b}/\sigma_{\phi n}$ e $(M_{\phi b}-M_{\phi n})/\sigma_{\phi n}$, sendo:

Ra = Fator de Enchimento, número estimado de metros cúbicos de material dragado requerido para produzir um metro cúbico de material na praia quando a praia está em condições compatíveis com o material nativo;

M_{ϕ} = média do tamanho do grão em ϕ , sendo:

σ_{ϕ} = desvio padrão do tamanho de grão em ϕ , sendo:

b = índice subscrito que designa sedimentos da jazida;

n = índice subscrito que designa sedimentos naturais da praia

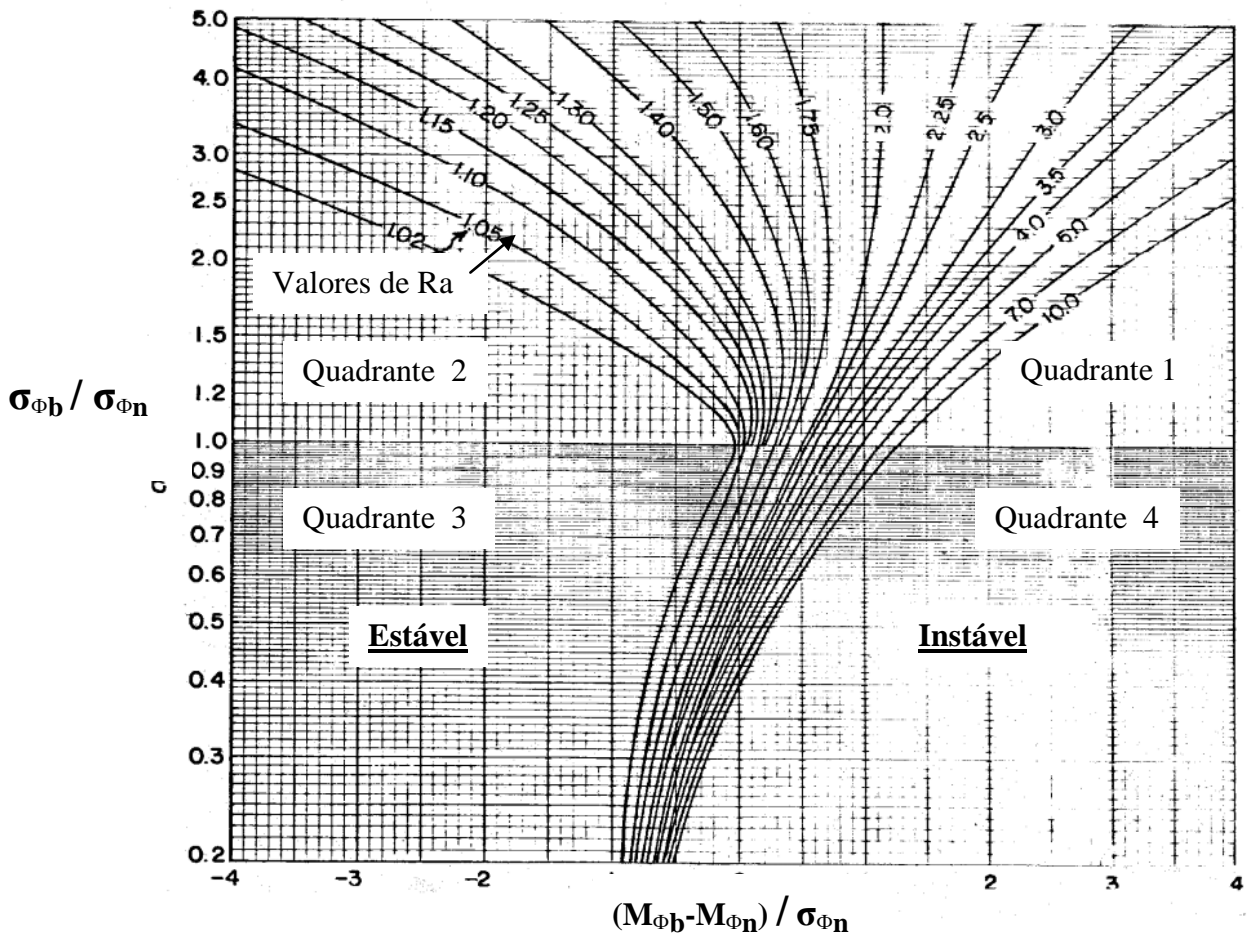


Figura 3: Isolinhas para cálculo do fator de enchimento através da média e desvio padrão dos sedimentos nativos da praia e jazida (adaptado de James, 1975; USACE, 1984)

Outro método para avaliar a compatibilidade entre os sedimentos nativos da praia e o adicionado em um projeto de alimentação artificial é baseado no conceito de perfil de equilíbrio. Esse método foi originalmente desenvolvido por Dean (1991) e leva em consideração a influência dos processos costeiros na forma dos perfis referentes aos sedimentos nativos da praia e o adicionado.

A partir de informações granulométricas desses dois tipos de materiais, é possível inferir o volume necessário a ser adicionado a uma praia para se ter determinada largura na parte subaérea e prever como se comportará seu perfil (DEAN & DALRYMPLE, 2002).

A equação para cálculo do perfil de equilíbrio de uma praia foi proposta por Bruun (1954):

$$h = A y^{2/3}$$

onde h é a profundidade, A um parâmetro escalar relacionado ao tamanho do grão e y a distância horizontal em direção ao mar aberto.

Abaixo (Fig.4) estão representadas três formas de perfis após engordamento de praia, variando conforme o tamanho dos grãos adicionados à praia: sedimento mais grosso que o nativo gerando um perfil que cruza com o original (a); sedimento semelhante ao nativo, resultando em um perfil que não cruza (b); e mais fino que a areia nativa da praia, resultando em um perfil submerso (c) que não é o interesse nesse tipo de projeto de engenharia costeira.

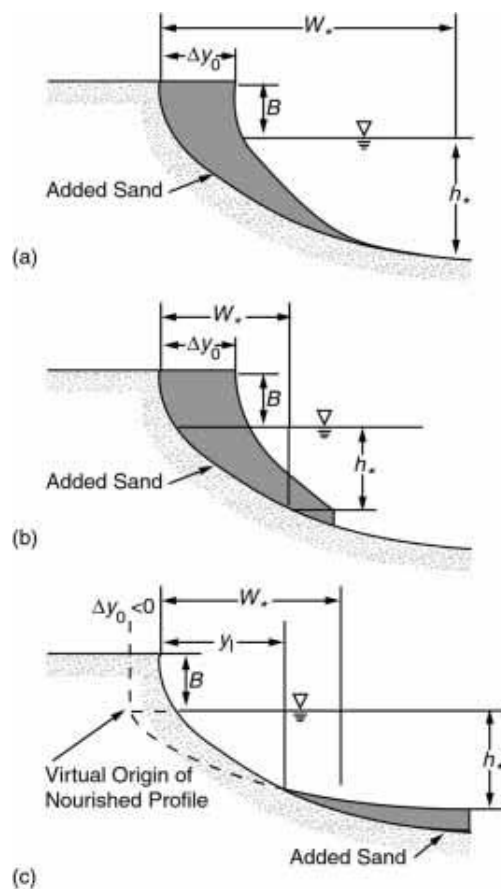


Figura 4: Perfis teóricos após preenchimento com sedimentos de granulometria mais grossa (a), igual (b) e mais fina (c) do que o nativo. (CAMPBELL, 1990)

Quando um sedimento mais grosso que o natural da praia é utilizado em projetos de alimentação artificial, a tendência é que a praia fique com uma maior inclinação e mais larga na parte subaérea. Já a utilização de sedimentos mais finos do que o natural da praia, ocasionará a remobilização dos mesmos em direção ao mar (DEAN & DALRYMPLE, 2002).

Mas se o sedimento da jazida for semelhante granulometricamente ao original da praia, tem-se uma situação de equilíbrio em que cada elemento do perfil alimentado se deslocará em direção ao mar, a uma mesma distância horizontal (MENEZES, 2004) como representado no esquema representativo abaixo (Fig.5):

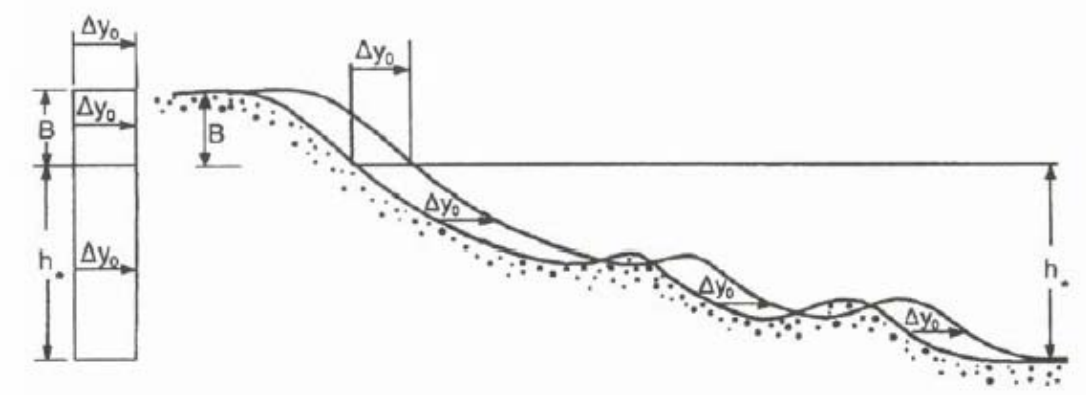


Figura 5: Perfil esquemático representando o deslocamento após preenchimento com sedimento semelhante ao original da praia. (CAMPBELL , 1990)

Para o cálculo do volume aproximado de areia compatível necessário a um projeto de alimentação de praia foi utilizada a equação apresentada por Campbell *et al.* (1990), referente à densidade de volume da alimentação expressa em m^3/m . O volume de alimentação para cada unidade de comprimento de praia é dado por:

$$V = \Delta y_0 \cdot (h_* + B)$$

onde o volume total (V) é igual ao deslocamento horizontal do perfil praiial (Δy_0) em direção ao mar, multiplicado pela soma da profundidade de fechamento (positivo) e a altura da berma ($h_* + B$) (Fig.5).

Por falta de dados precisos referentes à profundidade de fechamento das dezesseis praias estudadas, adotou-se o valor - 10 metros para efeitos de aproximação, que representaria o limite submarino da orla sugerido por Muehe (2004). A partir de levantamentos de perfis topográficos nas praias estudadas, assumiu-se o valor médio de três metros para a altura da berma. Para o deslocamento horizontal do perfil em direção ao mar, após a realização do projeto de engordamento, foram considerados 50 metros.

Por fim, a densidade de volume (m^3/m) multiplicado pelo comprimento do arco-praial ou trecho crítico a ser recuperado, resulta no volume aproximado de sedimento compatível necessário ao projeto. Entende-se por crítico, os setores mais artificializados da orla, com evidências erosivas e faixa de areia ausente ou muito estreita.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO DIÂMETRO MÉDIO DOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS NA PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA

A distribuição do tamanho médio dos sedimentos superficiais da plataforma continental interna no setor do litoral entre Niterói e Arraial do Cabo (Fig. 6), é predominantemente composta por areias de granulometria média e grossa, com a presença de sedimentos mais finos próximo à Arraial do Cabo e nas zonas mais profundas.

Já no outro setor estudado, entre Cabo Frio e Macaé (Fig. 7), nota-se uma maior influência de sedimentos finos e lamosos em regiões da plataforma continental interna próxima à costa, provavelmente associados às fontes fluviais mais presentes neste trecho do litoral do estado.

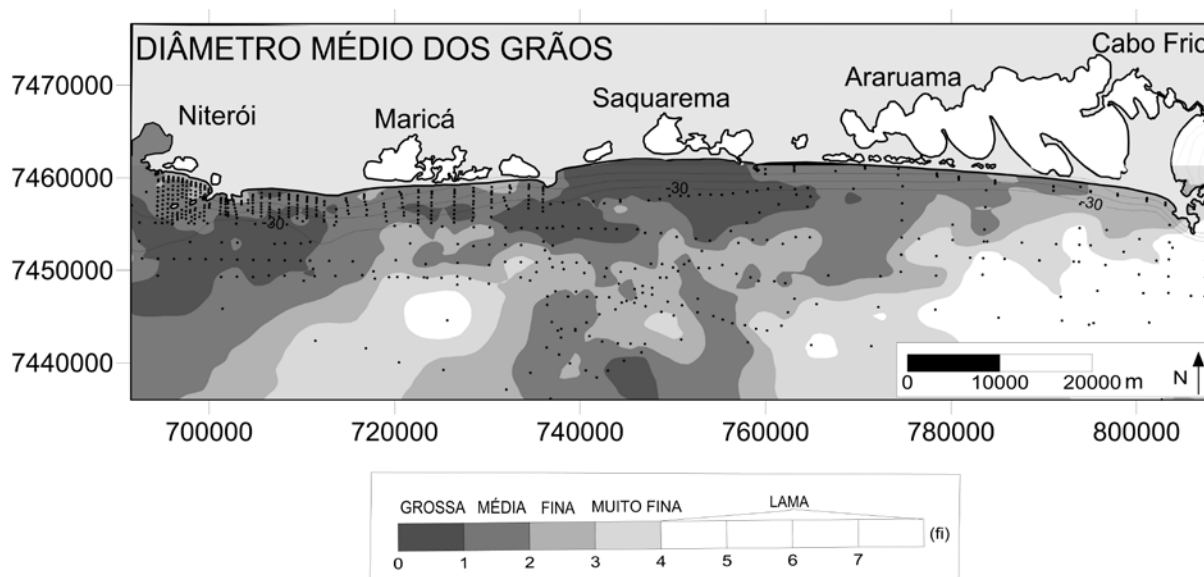


Figura 6: Mapeamento do diâmetro médio dos sedimentos superficiais da plataforma continental interna entre Niterói e Arraial do Cabo.

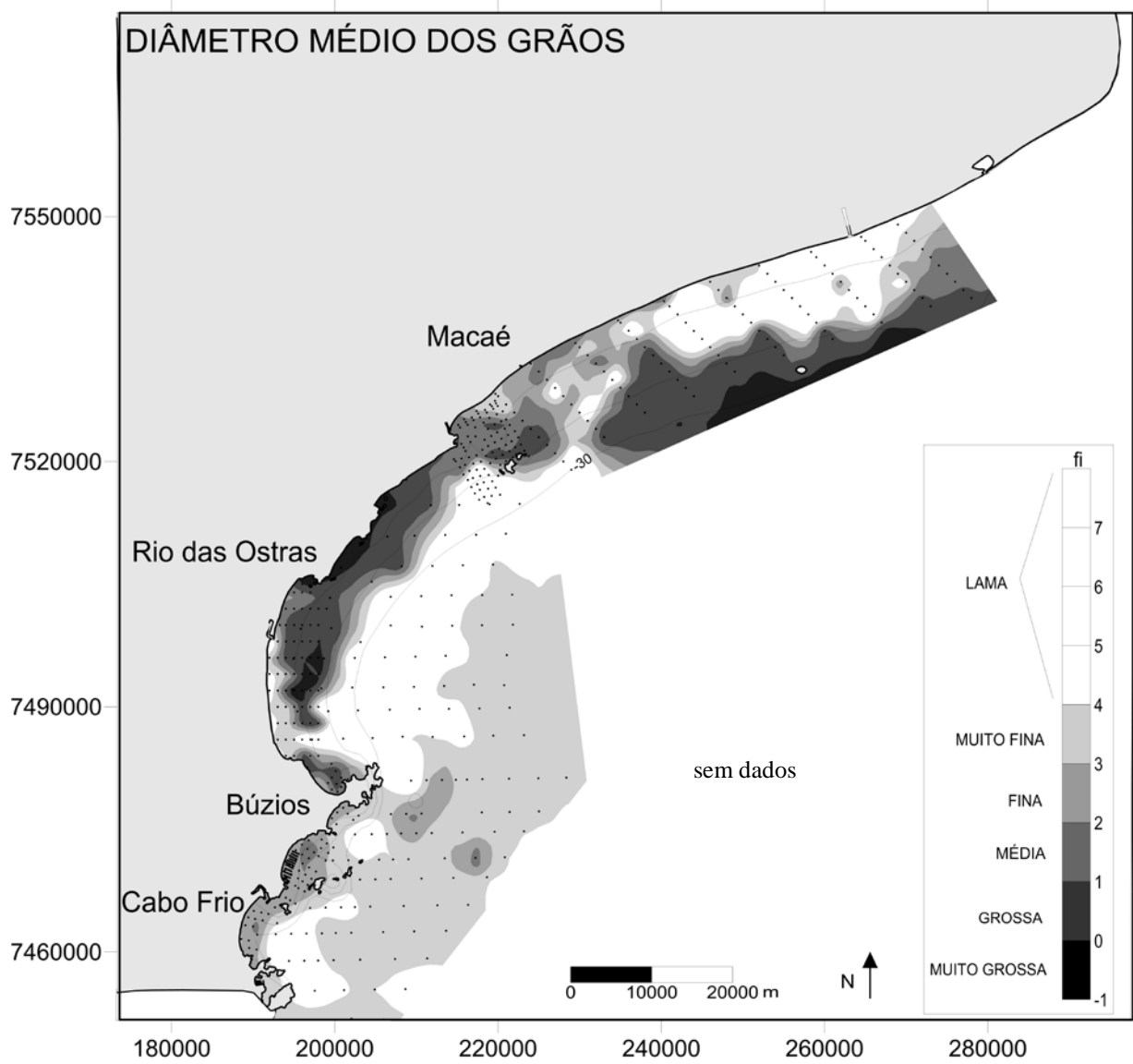


Figura 7: Mapeamento do diâmetro médio dos sedimentos superficiais da plataforma continental interna entre Cabo Frio e Macaé.

5.2 GRANULOMETRIA DAS PRAIAS ALVO E DE ÁREAS *OFFSHORE* COM POTENCIAL EXPLORATÓRIO

5.21 - NITERÓI - MARICÁ

Das quatro praias de Niterói estudadas, Icaraí e Piratininga são formadas por areias médias moderadamente selecionadas. São Francisco e Charitas de areias finas, sendo a primeira moderadamente selecionada e a segunda bem selecionada (Tab.3).

A praia de Piratininga está localizada na região oceânica e é a mais exposta às ondas de tempestade. Em várias ocasiões de tempestades extremas, sofreu a destruição de um muro de proteção, construído dentro do perfil dinâmico da praia (MUEHE, 2011) (Fig.8). As outras três são praias localizadas dentro da Baía de Guanabara, mais abrigadas ao ataque das ondas, porém são afetadas em situações extremas.



Figuras 8: Destruição de muro na praia de Piratininga em Niterói após ressaca de 2001 (MUEHE, 2011)

Ao largo da costa da cidade de Niterói, junto à desembocadura da baía da Guanabara, três áreas de depósitos sedimentares superficiais de areia média (áreas 1, 3 e 4) e uma de areia fina (área_2) foram demarcadas (Fig.10). Somadas, representam um volume aproximado de 20 milhões de metros cúbicos (considerando a espessura do pacote de 1 metro) (Tab.5).

Para as três praias da Baía da Guanabara (Icaraí, São Francisco e Charitas) os valores do Fator de Enchimento (R_a) encontrados foram entre 1 e 1,2 (Tab.6). Sendo compatíveis os

sedimentos das áreas 1, 3 e 4 demarcadas na plataforma continental interna com as areias da praia de Icaraí. Já as praias de São Francisco e Charitas apresentaram maior semelhança com as areias finas da área_2. Na praia de Piratininga, por possuir sedimentos mais grossos que as demais praias de Niterói, foi encontrado o valor do Fator de Enchimento entre 1,2 e 1,4 (Tab.6) quando comparados aos sedimentos da área_1 (Fig. 11, 12, 13 e 14).

Em Maricá, a praia de Itaipuaçu é composta por areia muito grossa e moderadamente selecionada, enquanto que a praia da Barra de Maricá de areia média bem selecionada (Tab.3). Ambas estão expostas às ondas de alta energia provenientes do quadrante sul. Ao longo do extenso arco praias alternam-se trechos mais críticos de erosão em áreas urbanizadas, com outros menos vulneráveis. Lins-de-Barros (2005) analisou os efeitos da tempestade de maio de 2001 na praia da Barra de Maricá, calculando prejuízos na ordem de 200.000 reais por quilômetro de praia (Fig.9).



Figura 9 : Destruição de casas na orla da praia de Barra de Maricá após ressaca de 2001 (LINS-DE-BARROS, 2005)

Ao largo deste litoral, próximo à profundidade de -20 m, observou-se a presença de duas grandes áreas de depósitos de areia grossa (áreas 5 e 6), com volume na ordem de 10 milhões de metros cúbicos em cada sítio (Fig. 10)

Nenhuma dessas duas áreas apresentaram sedimentos compatíveis com a areia muito grossa da praia de Itaipuaçu, com valores de Fator de Enchimento superiores a 2, inviabilizando o projeto (Fig.15 e 16) (Tab.6) . Uma alternativa, porém de custos bem mais elevados, seria utilizar sedimentos da área_9 (Fig.33), localizada distante do local, próxima ao litoral de Rio das Ostras. Para essa área o Fator de Enchimento calculado foi entre 1,4 e 2 (Tab.6). Já a praia de Barra de Maricá apresentou boa correlação com sedimentos da área_6 (Fig.17), com Fator de Enchimento calculado na faixa entre 1 e 1,2 (Tab.6).

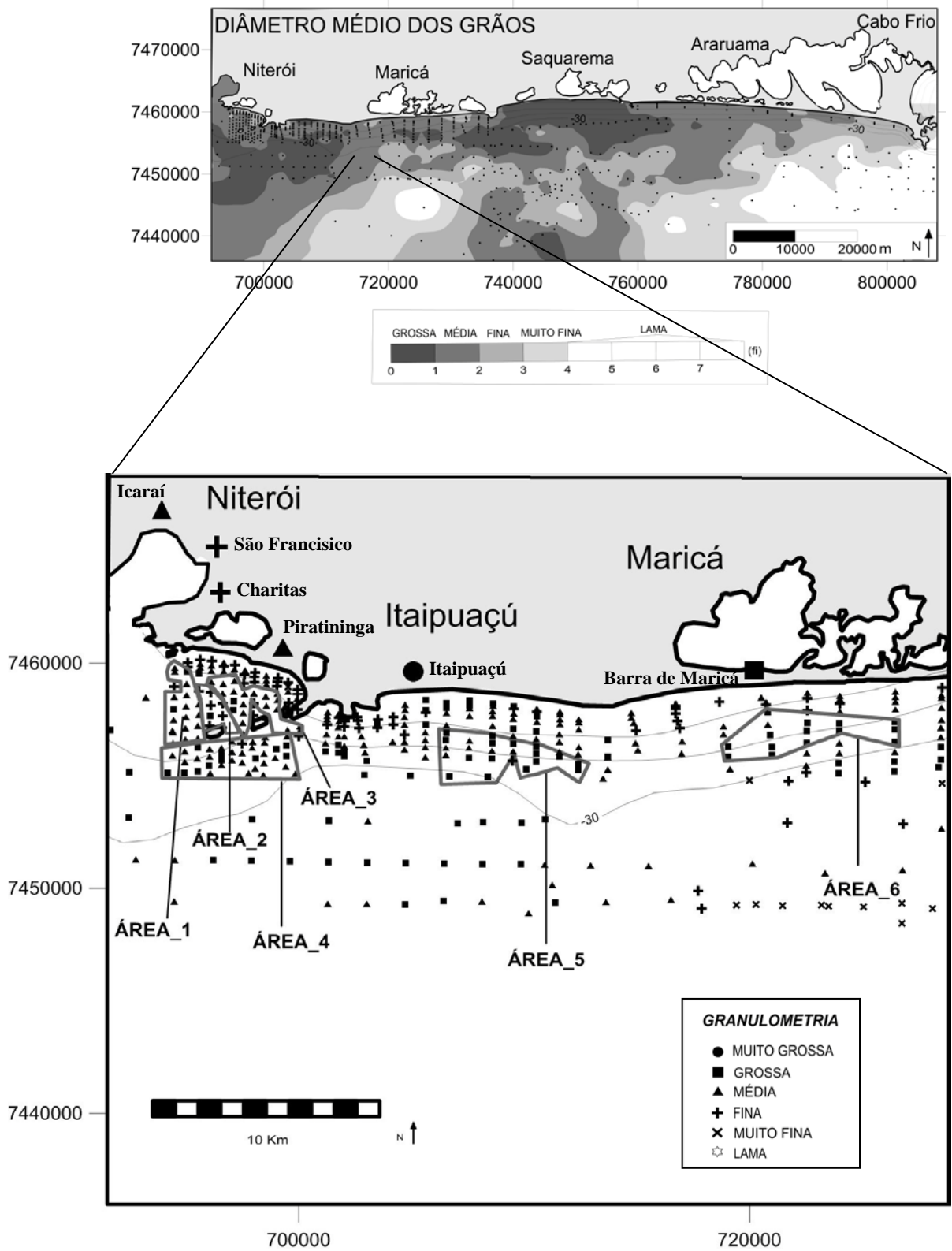


Figura 10: Detalhe de áreas com potencial para exploração ao largo do litoral de Niterói e Maricá

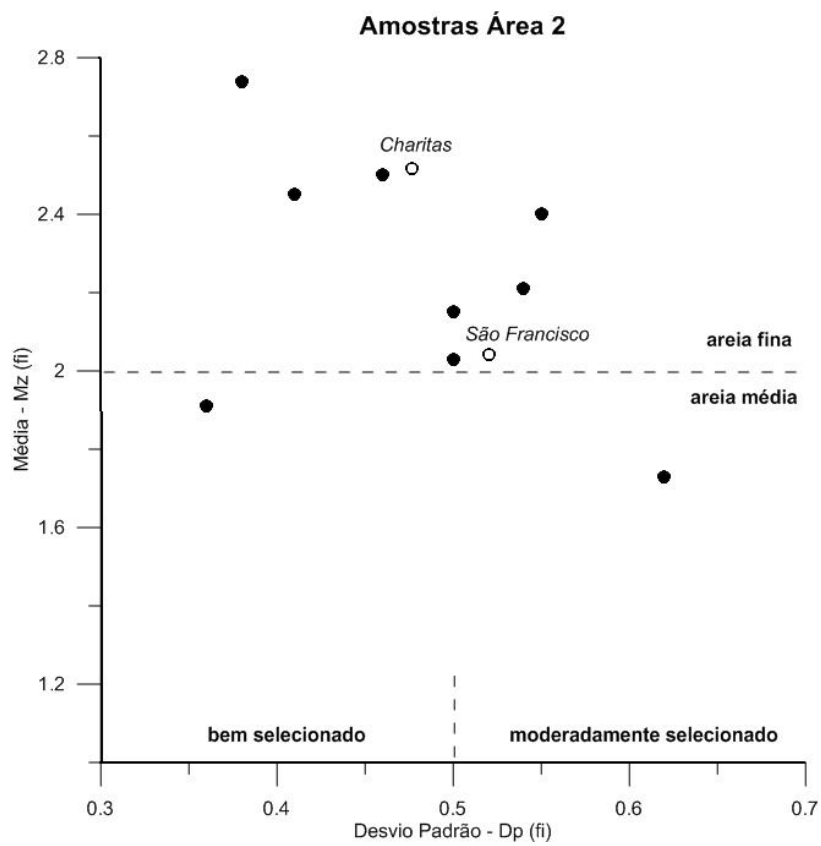
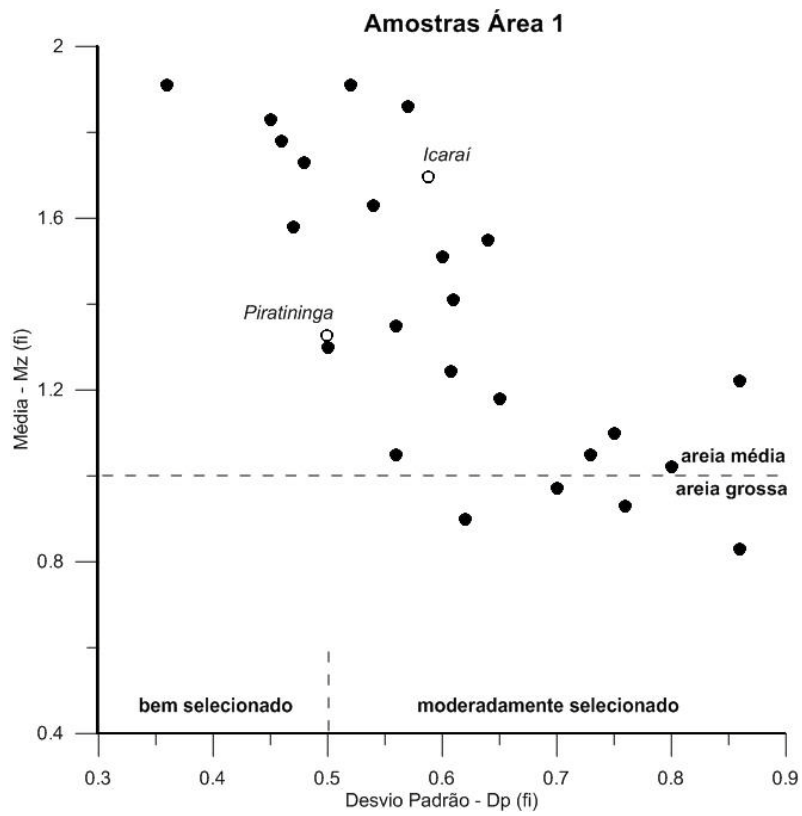


Figura 11 e 12: Gráfico das médias (Mz) e desvio padrão (Dp) dos sedimentos da praia e das áreas 1 e 2 na plataforma continental interna.

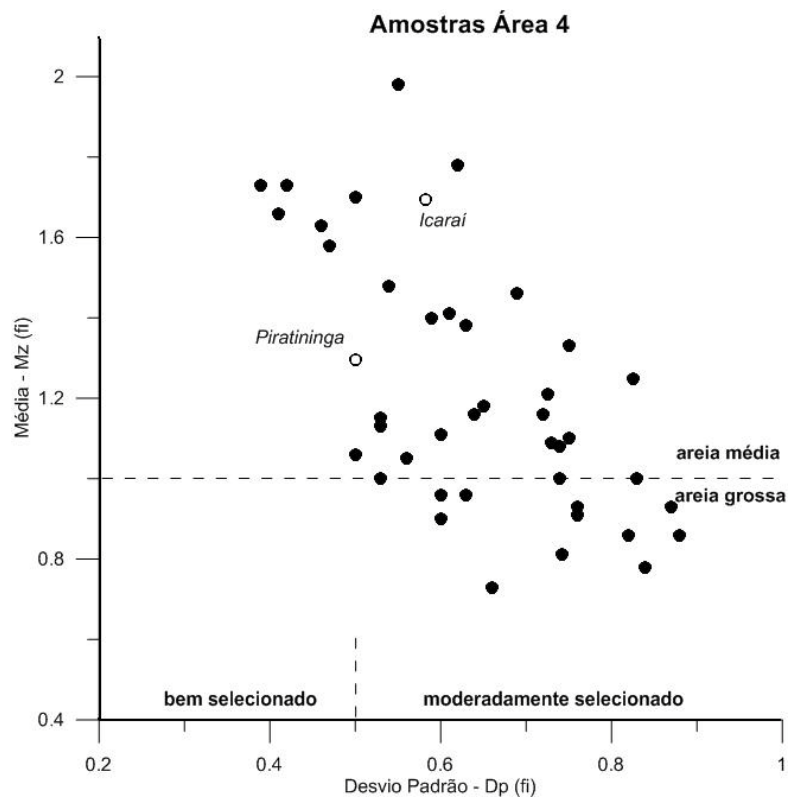
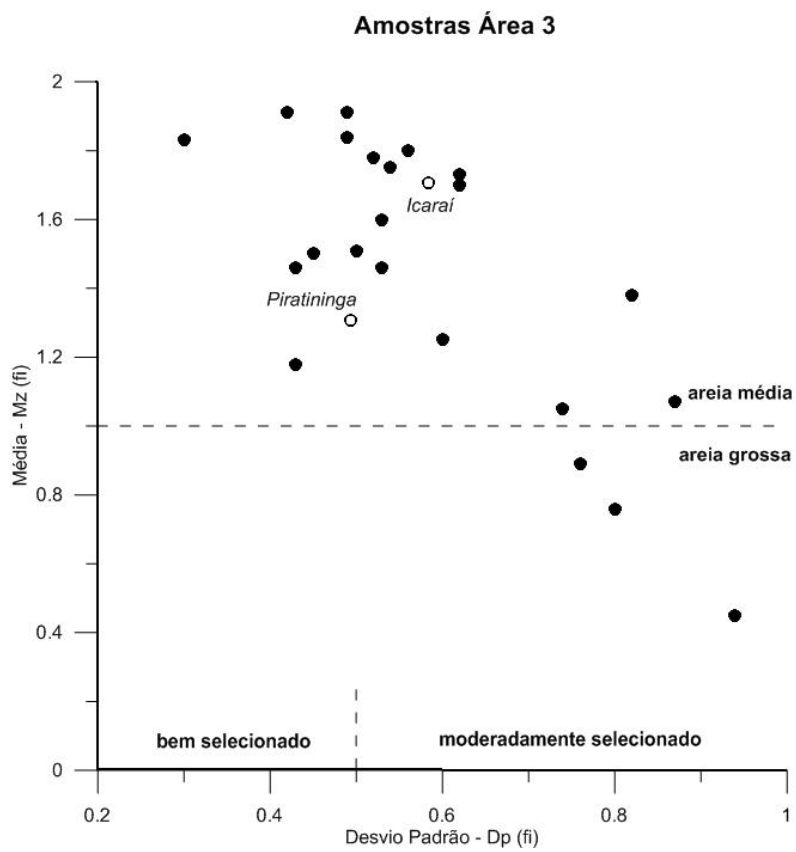
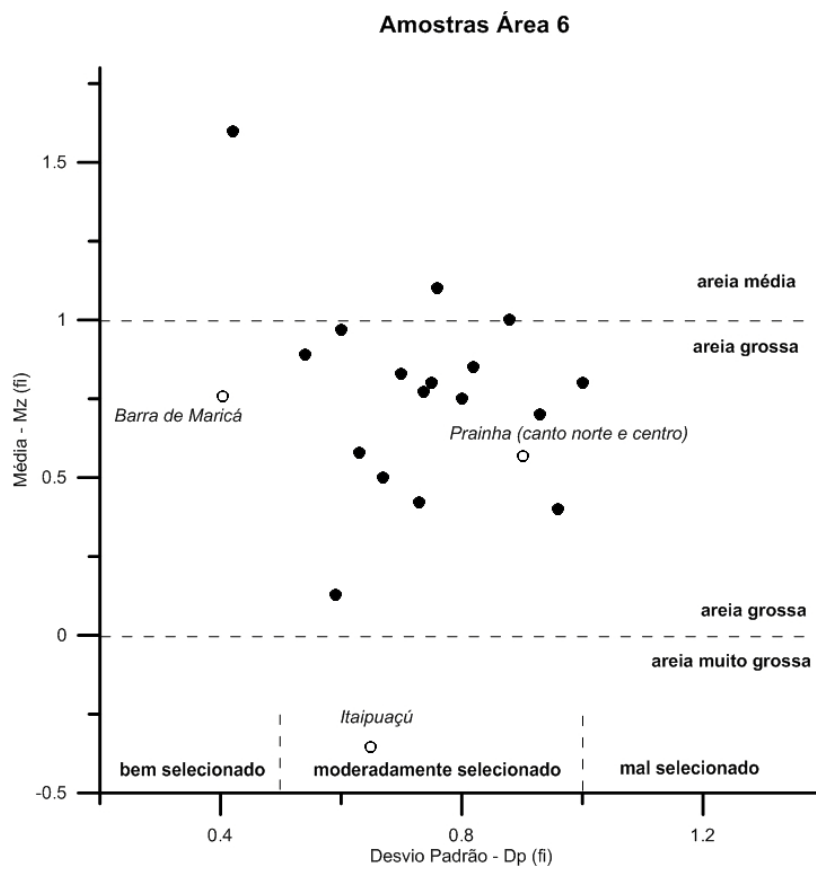
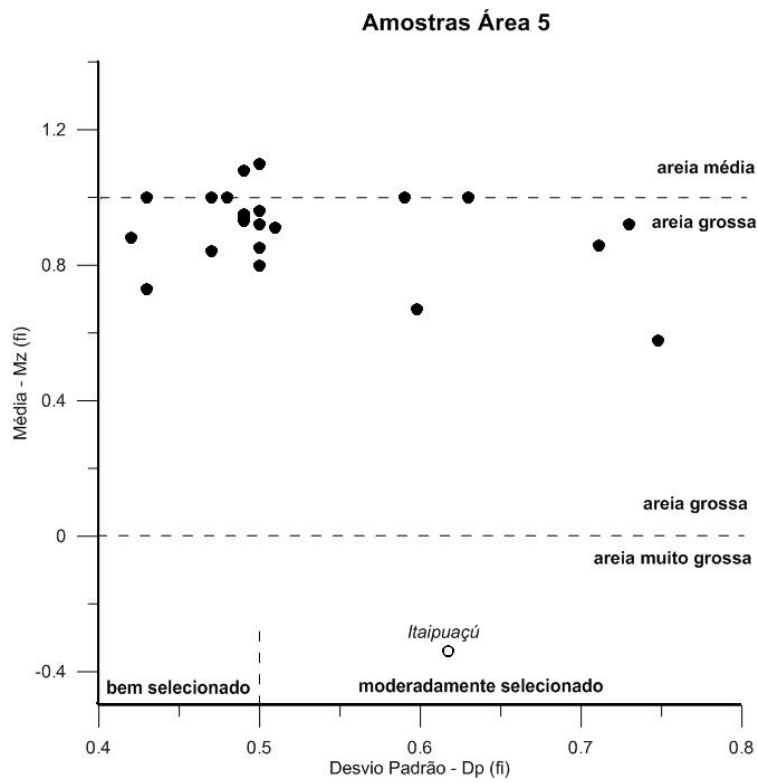


Figura 13 e 14: Gráfico das médias (Mz) e desvio padrão (Dp) dos sedimentos da praia e das áreas 3 e 4 na plataforma continental interna.



Figuras 15 e 16: Gráfico das médias (Mz) e desvio padrão (Dp) dos sedimentos da praia e das áreas 5 e 6 na plataforma continental interna.

5.22 – ARRAIAL DO CABO – CABO FRIO - BÚZIOS

Os setores norte e centro da Prainha em Arraial do Cabo apresentam areia predominantemente grossa, moderadamente selecionada e com elevada presença carbonática (cerca de 37% de CaCO_3) (Tab.3). Já no canto sul, os sedimentos apresentam características diferentes do restante da praia. Predominam areias finas e bem selecionadas, além de menor teor de carbonato (10% aproximadamente) (Tab.3). Neste trecho, casas estão situadas na berma da praia (Fig. 18).

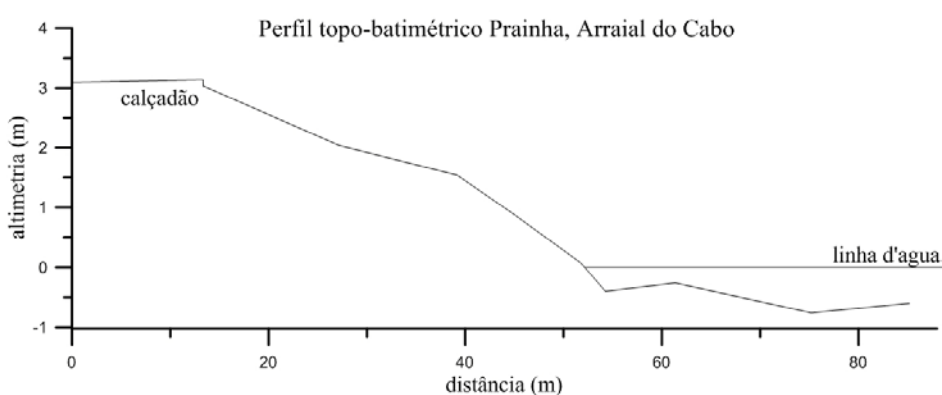


Figura 17: Perfil topo-batimétrico levantado através de nivelamento topográfico em junho de 2010. Prainha de Arraial do Cabo (meio da praia).



Figura 18: Casas dentro do perfil ativo da praia. Prainha de Arraial do Cabo (Fonte:Arquivo pessoal).

Na praia do Forte em Cabo Frio, o segmento norte do arco-praial, é constituído por areia fina bem selecionada (Tab.4) e de coloração muito clara. Este é um segmento crítico, bastante urbanizado que constantemente sofre com a destruição do calçadão pela ação de ondas de sudeste e su-sudeste principalmente (Fig.19 e 20).



Figura 19 e 20: Calçadão destruído após evento extremo em junho de 2010. Praia do Forte em Cabo Frio. (Fonte: Arquivo pessoal)

As três praias da península da Armação dos Búzios apresentam elevada presença carbonática com percentagens em torno de 30% de carbonato nas amostras. Manguinhos e o canto leste de Geribá são predominantemente de areias finas moderadamente selecionadas, enquanto que a praia da Ferradura de areia média moderadamente selecionada (Tab.4).

Todas as praias possuem casas localizadas dentro do perfil ativo. Em Manguinhos já não há mais faixa de areia durante situações de maré alta e as ondas atingem diretamente os muros das casas (LINS-DE-BARROS, 2010) (Fig.21 e 22). Na praia da Ferradura (Fig.24) e no canto leste da praia de Geribá, a faixa de areia também é estreita.

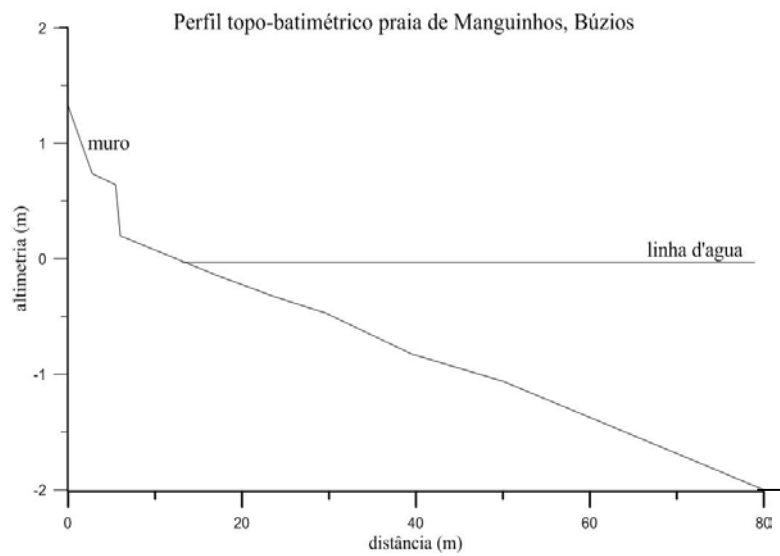


Figura 21: Perfil topo-batimétrico levantado através de nivelamento topográfico em junho de 2010. Praia de Manguinhos em Búzios.



Figura 22: Muro dentro do perfil ativo da praia. Praia de Manguinhos, Búzios. (Fonte: Arquivo pessoal)

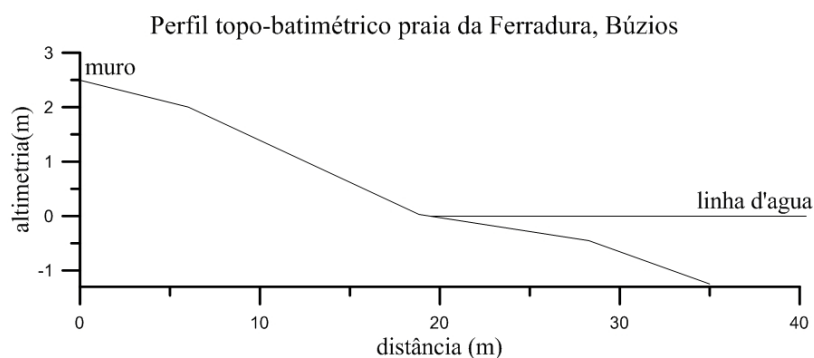


Figura 23: Perfil topo-batimétrico levantado através de nivelamento topográfico em junho de 2010. Praia da Ferradura, Búzios.



Figura 24: Muros dentro do perfil ativo da praia. Praia da Ferradura, Búzios. (Fonte: Arquivo pessoal)

Entre Cabo Frio e Búzios, duas áreas de depósitos de areia fina próximos à costa foram delimitadas. Uma mais ao sul (área_7) com cerca de 4 milhões de metros quadrados e a outra (área_8) com aproximadamente 13 milhões, com a presença de areia fina e média (Fig.25).

O meio e o canto norte da Prainha de Arraial do Cabo somente apresentaram compatibilidade com as areias da área_6 próxima a Maricá (Fig.16), bem distante do litoral de Arraial do Cabo, com Fator de Enchimento entre 1 e 1,2 (Tab.6). Já o canto sul de areias finas, os sedimentos apresentaram ser compatíveis com sedimentos da área_7 (Fig.26), com valor de Fator de Enchimento entre 1 e 1,2 (Tab.6).

Já para a praia do Forte em Cabo Frio, o do Fator de Enchimento foi entre 1,2 e 1,4 comparado aos sedimentos da área_7 (Fig.26) (Tab.6). Em Búzios, os sedimentos da área_8 (Fig.27) demonstraram ser compatíveis às areias das praias de Manguinhos e Geribá (canto leste), com valores de Fator de Enchimento entre 1 e 1,2 (Tab.6). A praia da Ferradura possui sedimentos compatíveis somente com as areias da área_9 mais distante do local (Fig.33), próxima a Rio das Ostras, com Fator de Enchimento entre 1 e 1,2 (Tab.6).

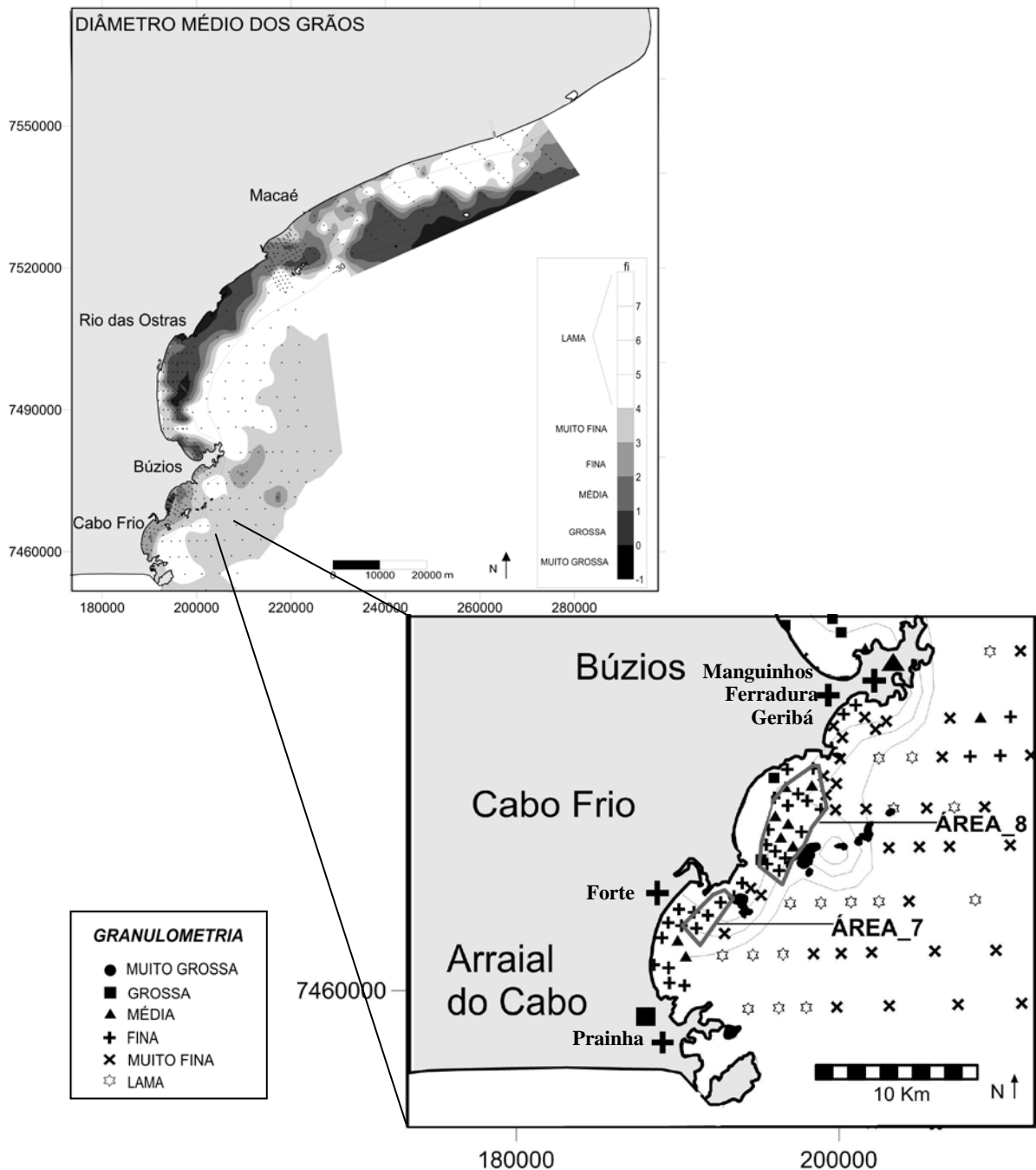
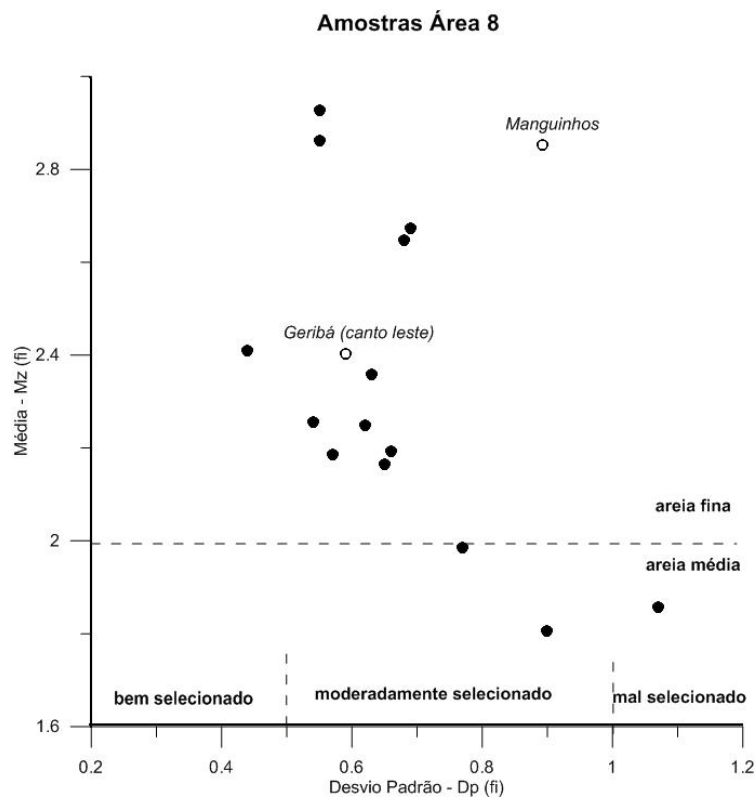
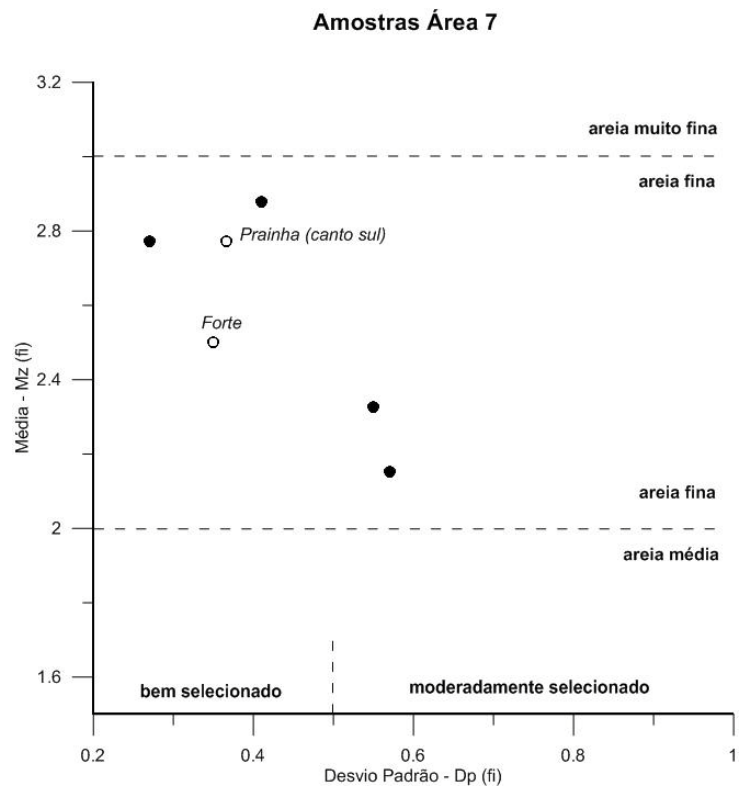


Figura 25: Detalhe de áreas com potencial para exploração ao longo do litoral de Cabo Frio e Búzios.



Figuras 26 e 27: Gráfico das médias (Mz) e desvio padrão (Dp) dos sedimentos da praia e das áreas 7 e 8 na plataforma continental interna.

5.23 – RIO DAS OSTRAS

Em Rio das Ostras, as quatro praias apresentaram granulometria semelhante (Tab.4). As praias do Abricó, Tartaruga e Centro são constituídas por areias médias e moderadamente selecionadas. Já na praia do Bosque predominam areias grossas mal selecionadas. Todas com baixa presença carbonática (em torno de 5% de CaCO_3).

A praia da Tartaruga possui casas na retaguarda, algumas já destruídas por ação das ondas de tempestade vindas principalmente de sudeste e su-sudeste (Fig.28). E na praia do Abricó a comparação dos perfis realizados em levantamentos do Laboratório de Geografia Marinha – UFRJ, revelou em quase 10 anos um recuo da escarpa da praia do Abricó de 10 metros (LINS-DE-BARROS, 2010) (Fig.29, 30 e 31).



Figura 28: Casas destruídas na praia da Tartaruga, Rio das Ostras. (Fonte: Arquivo pessoal)

Ao longo do embaiamento que vai desde o cabo Búzios à Rio das Ostras, entre as linhas batimétricas de -10 m e -20 m, ocorre um grande sítio de depósitos de areia grossa e muito grossa (área_9) de aproximadamente 50 milhões de metros cúbicos (Fig. 32).

Os sedimentos da grande área demarcada na plataforma (Fig.33), demonstraram ser compatíveis com as areias de todas as praias estudadas de Rio das Ostras, apresentando valores de Fator de Enchimento entre 1 e 1,2 (Tab.6).

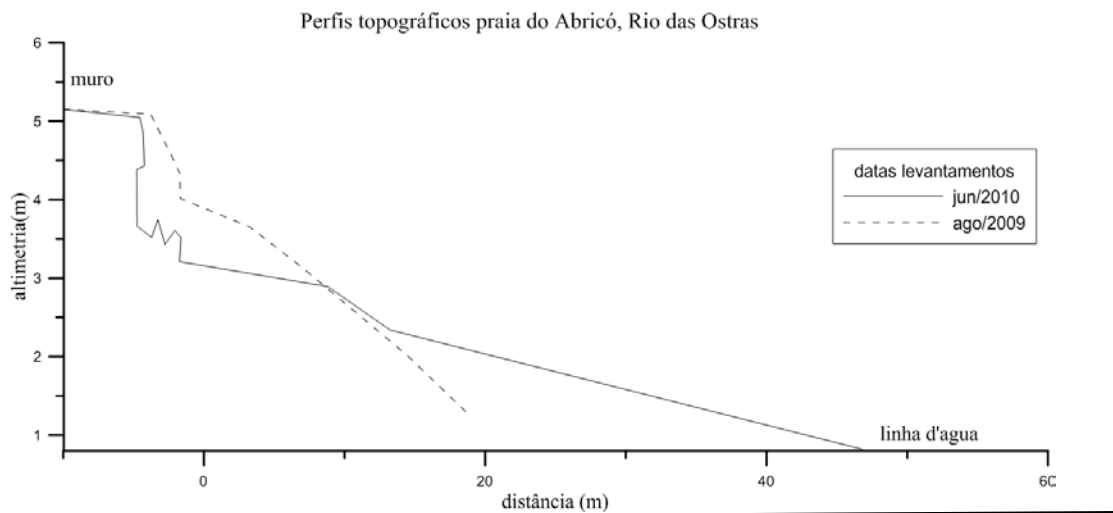


Figura 29: Sobreposição de perfis topográficos levantados através de nivelamento topográfico em agosto de 2009 e junho de 2010. Praia do Abricó, Rio das Ostras.



Figuras 30 e 31: Recuo da escarpa em 11 anos na praia do Abricó em Rio das Ostras. Foto superior de 1999 (Fonte: LINS-DE-BARROS, 2010) e inferior tirada em 2010 (Fonte: Arquivo pessoal).

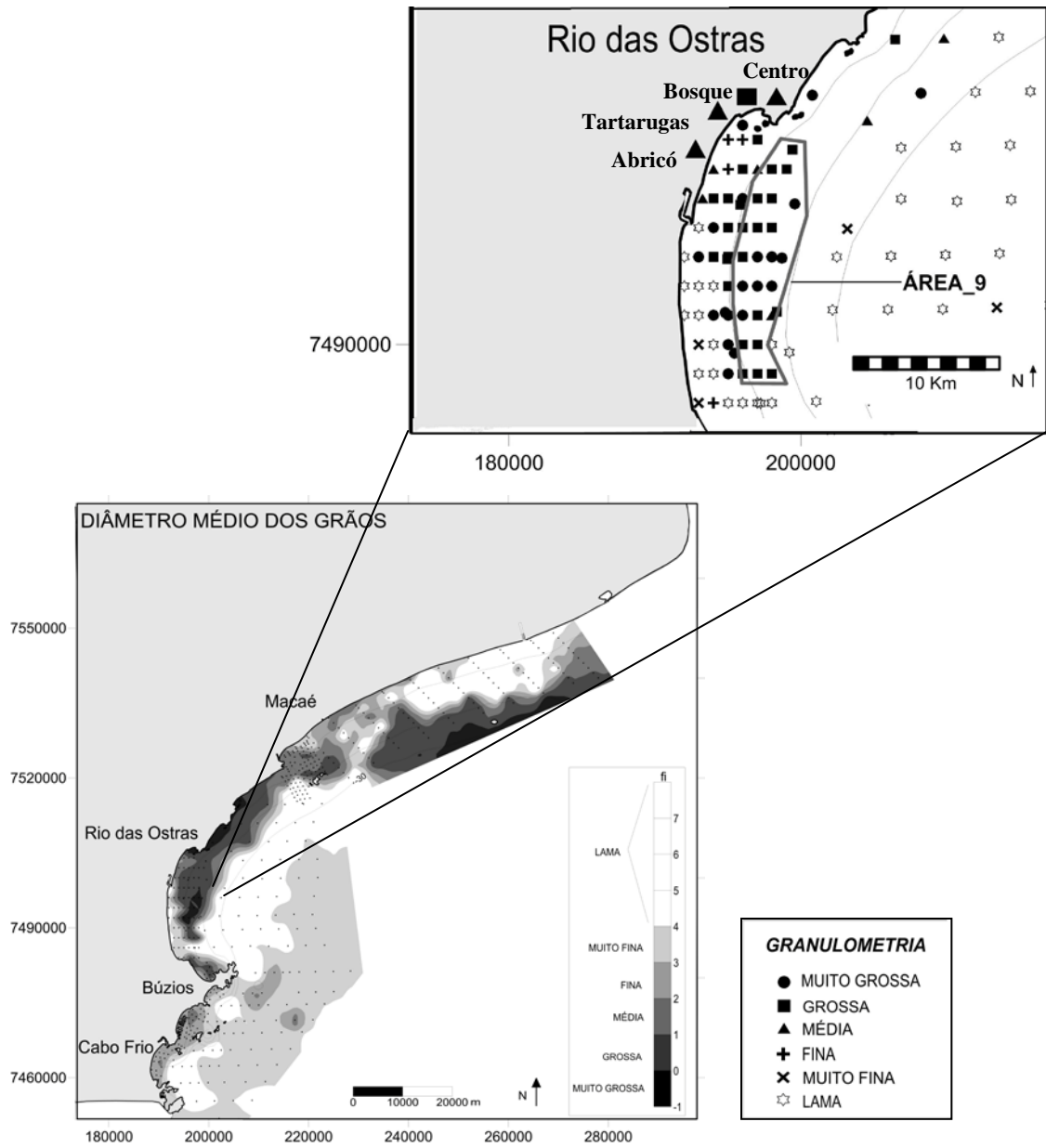


Figura 32: Detalhe de área com potencial para exploração ao largo do litoral de Rio das Ostras.

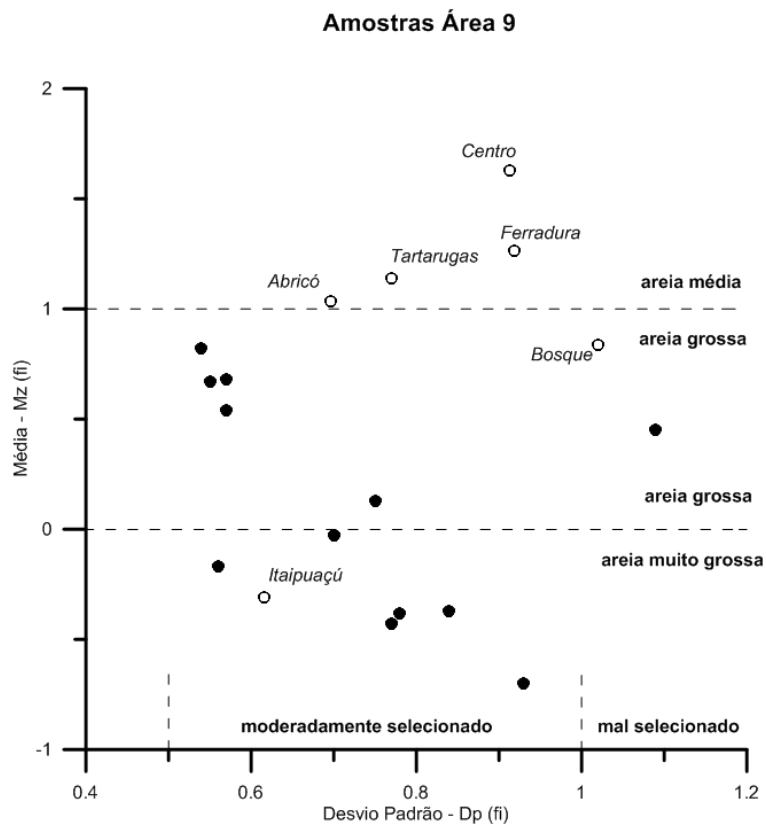


Figura 33: Gráfico das médias (Mz) e desvio padrão (Dp) dos sedimentos da praia e da área_9 na plataforma continental interna.

5.24 – MACAÉ

Por fim, a praia dos Cavaleiros em Macaé, é composta por areias médias moderadamente selecionadas e de baixo teor de carbonato (cerca de 5% de CaCO_3) (Tab.4). Também é comum a destruição pelas ondas do calçadão da principal praia da cidade (Fig.35).

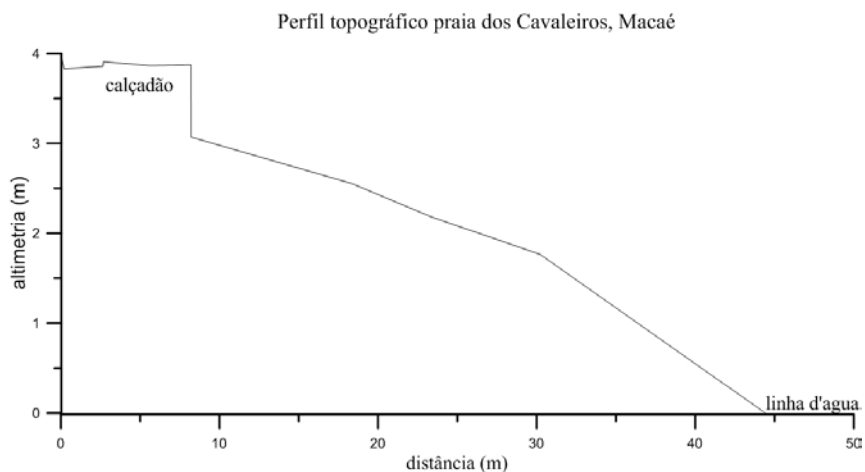


Figura 34: Perfil topográfico levantado através de nivelamento topográfico em junho de 2010. Praia dos Cavaleiros, Macaé.



Figura 35: Calçadão da praia dos Cavaleiros em Macaé (Fonte:Arquivo pessoal) .

Entre o Arquipélago de Santana e a orla de Macaé, foram identificadas duas potenciais áreas de areia grossa e média (áreas 10 e 11), que juntas somam um volume aproximado de 35.000.000 m³ (Fig. 36). Os sedimentos dessas duas áreas demonstraram ser compatíveis com as areias da praia dos Cavaleiros, com Fator de Enchimento na ordem de 1 a 1,2 (Fig.37 e 38) (Tab. 6).

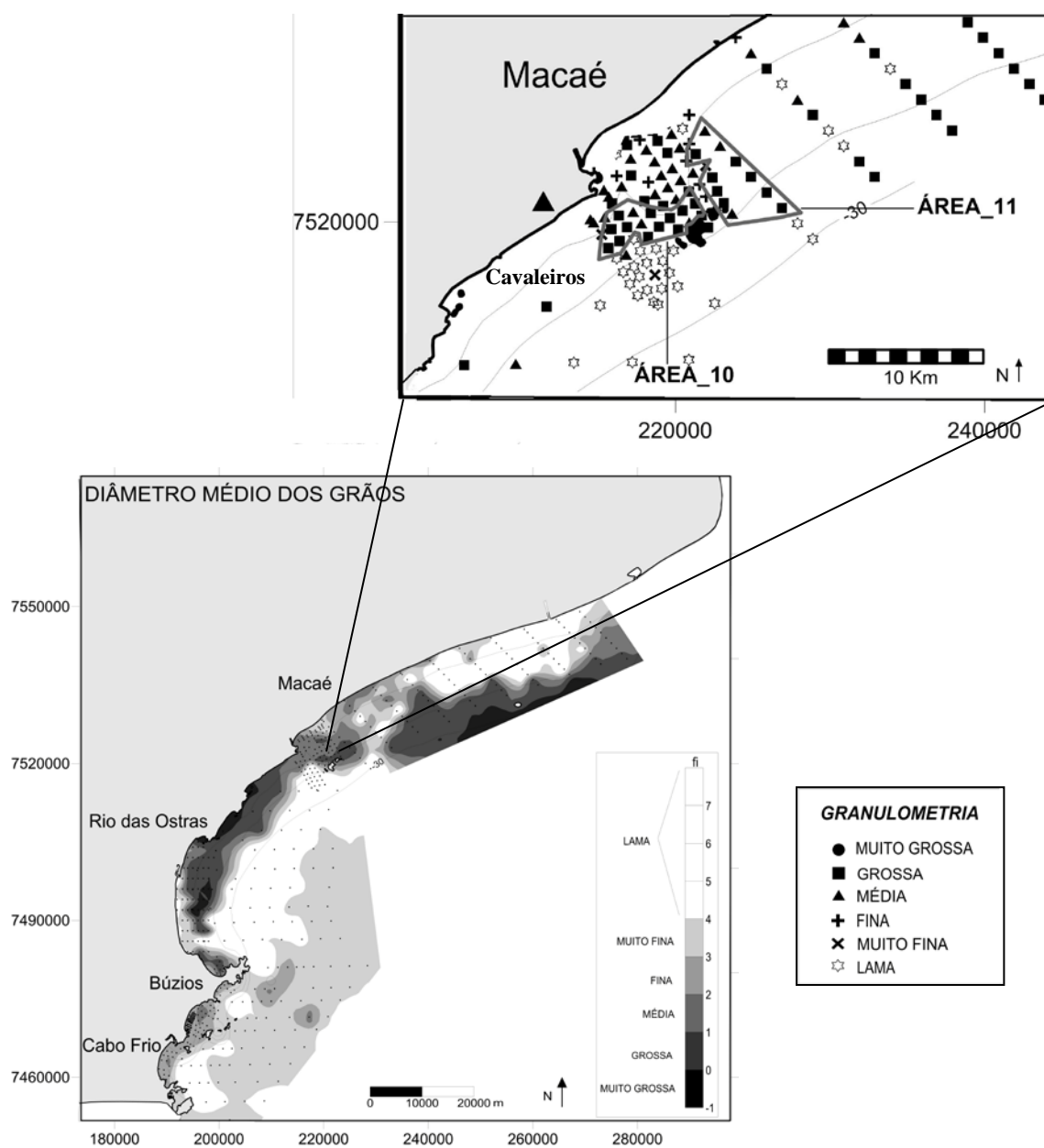
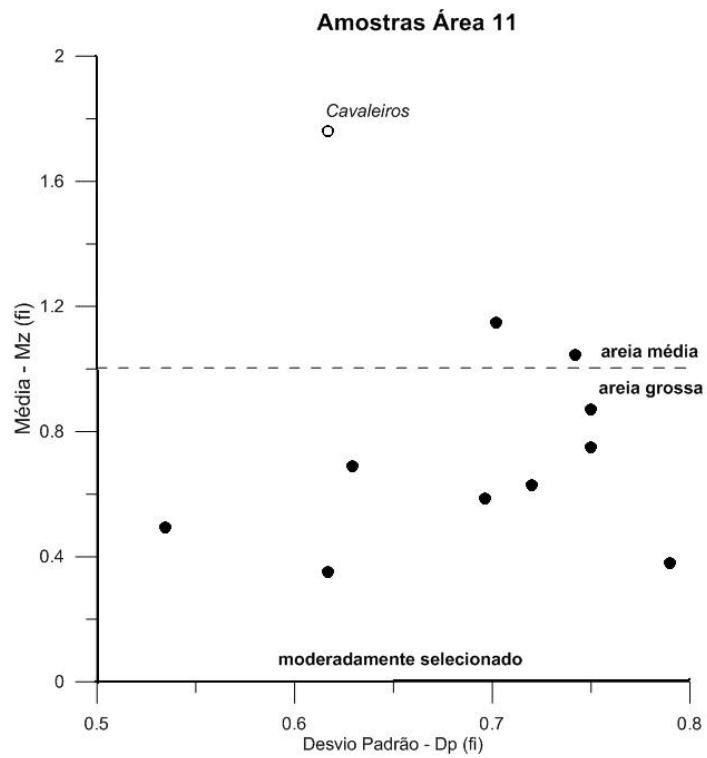
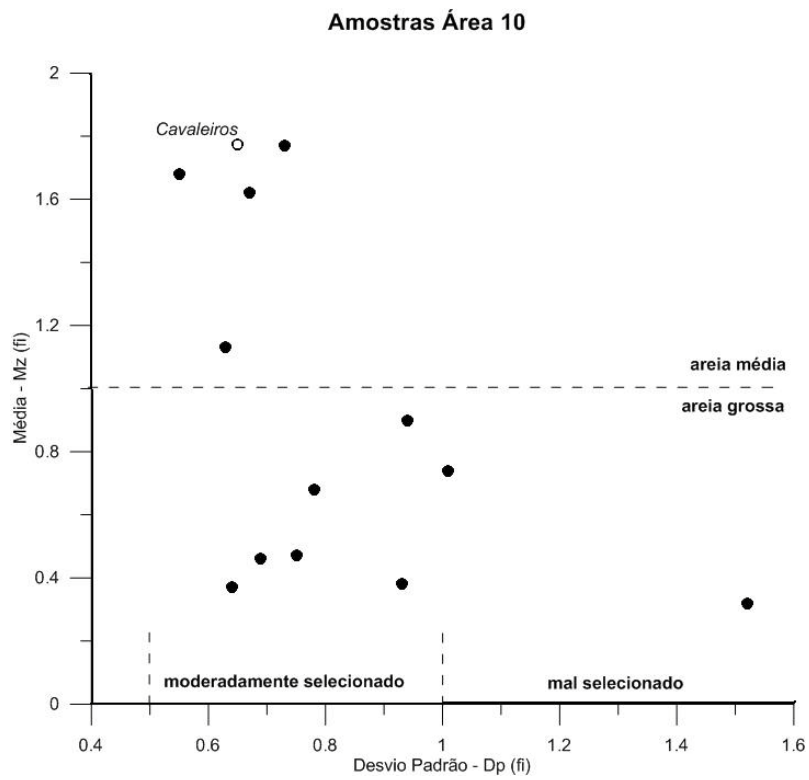


Figura 36: Detalhe de áreas com potencial para exploração ao largo do litoral de Macaé



Figuras 37 e 38: Gráficos das médias (Mz) e desvio padrão (Dp) dos sedimentos da praia e das áreas 10 e 11 na plataforma continental interna.

| Praia | Cidade | Média (fi) | Desvio padrão (fi) | Teor caco₃ (%) | Classificação textural | Volume necessário aterro (m³) | Extensão aterro (km) |
|------------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---|-----------------------------|
| Icaraí | Niterói | 1,69 | 0,59 | 2 | Areia média mod. Seleccionada | 1 117 000 | 1,8 |
| São francisco | Niterói | 2,03 | 0,52 | 0 | Areia fina mod. Seleccionada | 422 500 | 0,65 |
| Charitas | Niterói | 2,49 | 0,47 | 0 | Areia fina bem selecionada | 1 300 000 | 2 |
| Piratininga | Niterói | 1,3 | 0,5 | 0 | Areia média mod. Seleccionada | 1 625 000 | 2,5 |
| Itaipuaçu | Maricá | -0,34 | 0,62 | 0 | Areia muito grossa mod. Seleccionada | 650 000 | 1 |
| Barra de maricá | Maricá | 0,99 | 0,41 | 0 | Areia grossa bem selecionada | 975 000 | 1,5 |
| Prainha (canto sul) | Arraial do Cabo | 2,79 | 0,36 | 11 | Areia fina bem selecionada | 130 000 | 0,2 |
| Prainha (centro/norte) | Arraial do Cabo | 0,8 | 0,9 | 35 | Areia grossa mod. Seleccionada | 520 000 | 0,8 |

Tabela 3 : Classificação textural das praias entre Niterói e Arraial do Cabo, volume de areia compatível aproximado necessário para avanço de 50 metros em direção ao mar e a extensão longitudinal do projeto.

| Praia | Cidade | Média (fi) | Desvio padrão (fi) | Teor CaCO₃ (%) | Classificação textural | Volume necessário aterro (m³) | Extensão aterro (km) |
|----------------------|----------------|-------------------|---------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---|-----------------------------|
| Forte | Cabo frio | 2,49 | 0,35 | 0 | Areia fina bem selecionada | 975 000 | 1,5 |
| Geribá (canto leste) | Búzios | 2,4 | 0,6 | 22 | Areia fina mod. Selecionada | 325 000 | 0,5 |
| Ferradura | Búzios | 1,32 | 0,92 | 38 | Areia média mod. Selecionada | 780 000 | 1,2 |
| Manguinhos | Búzios | 2,81 | 0,9 | 23 | Areia fina mod. Selecionada | 4 550 000 | 7 |
| Abriçó | Rio das ostras | 1,01 | 0,69 | 3 | Areia média mod. Selecionada | 1 950 000 | 3 |
| Tartarugas | Rio das ostras | 1,09 | 0,76 | 4 | Areia média mod. Selecionada | 650 000 | 1 |
| Bosque | Rio das ostras | 0,78 | 1,06 | 3 | Areia grossa mal selecionada | 650 000 | 1 |
| Centro | Rio das ostras | 1,55 | 0,91 | 4 | Areia média mod. Selecionada | 520 000 | 0,8 |
| Cavaleiros | Macaé | 1,78 | 0,62 | 5 | Areia média mod. Selecionada | 975 000 | 1,5 |

Tabela 4 : Classificação textural das praias entre Cabo Frio e Macaé, volume de areia compatível aproximado necessário para avanço de 50 metros em direção ao mar e a extensão longitudinal do projeto.

| Área com potencial exploratório | Cidade próxima | Granulometria predominante-secundária | Volume aproximado (m³) – 1m espessura |
|--|-----------------------|--|---|
| Área 1 | Niterói | Areia média - grossa | 4 079 264 |
| Área 2 | Niterói | Areia fina - média | 1 919 467 |
| Área 3 | Niterói | Areia média - grossa | 3 745 085 |
| Área 4 | Niterói | Areia média - grossa | 9 968 294 |
| Área 5 | Maricá | Areia grossa - média | 9 004 438 |
| Área 6 | Maricá | Areia grossa - média | 10 380 469 |
| Área 7 | Cabo Frio | Areia fina | 4 250 506 |
| Área 8 | Cabo Frio | Areia fina - média | 13 409 858 |
| Área 9 | Rio das Ostras | Areia grossa - muito grossa | 51 471 978 |
| Área 10 | Macaé | Areia grossa - média | 12 018 906 |
| Área 11 | Macaé | Areia grossa - média | 22 808 912 |

Tabela 5 : Classificação textural das áreas com potencial de exploração na plataforma continental interna e o volume aproximado do pacote para espessura igual a 1 metro

| Praia | Área Fonte | Fator de Enchimento |
|--------------------------------|-------------------|----------------------------|
| Icaraí | Áreas 1, 3 e 4 | 1 – 1,2 |
| São francisco | Área 2 | 1 – 1,2 |
| Charitas | Área 2 | 1 – 1,2 |
| Piratininga | Área 1 | 1,2 – 1,4 |
| Itaipuaçú | Áreas 5 e 6 | > 2 |
| Itaipuaçú | Área 9 | 1,4 - 2 |
| Barra de maricá | Área 6 | 1 - 1,2 |
| Prainha (canto sul) | Área 7 | 1 – 1,2 |
| Prainha (centro/ norte) | Área 7 | >2 |
| Prainha (centro/ norte) | Área 6 | 1 – 1,2 |
| Forte | Área 7 | 1,2 – 1,4 |
| Geribá (canto leste) | Área 8 | 1 – 1,2 |
| Ferradura | Área 8 | >2 |
| Ferradura | Área 9 | 1 – 1,2 |
| Manguinhos | Área 8 | 1 – 1,2 |
| Abricó | Área 9 | 1 – 1,2 |
| Tartarugas | Área 9 | 1 – 1,2 |
| Bosque | Área 9 | 1 – 1,2 |
| Centro | Área 9 | 1 – 1,2 |
| Cavaleiros | Área 10 e 11 | 1 – 1,2 |

Tabela 6 : Fator de Enchimento para sedimentos das praias-alvo e das áreas fontes.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As dezesseis praias estudadas apresentaram diferença na distribuição granulométrica das amostras dos sedimentos presentes na face da praia. Os valores do diâmetro médio dos grãos variaram desde 2,81 *fi* (areia fina) na praia de Manguinhos em Búzios até – 0,34 *fi* (areia muito grossa) na praia de Itaipuaçu em Maricá. As praias do setor entre Arraial do Cabo e Macaé apresentaram teores de material carbonático em sua composição, algumas com percentagens elevadas – como nas praias de Búzios e Arraial do Cabo – ao contrário das amostras do outro setor estudado.

No total, onze áreas entre as profundidades de -10 e -30 metros com depósitos de diferentes granulometria - areia fina, média, grossa e muito grossa - foram delimitadas (Tab.5). A identificação de sedimento compatível e disponível para extração representaria uma primeira etapa para futuros esforços de alimentação artificial que possam vir a ocorrer em alguma das praias estudadas.

O volume potencial das jazidas a ser explorado dependerá de um maior detalhamento do depósito. Em todo caso, nota-se que haverá sedimento disponível para a recuperação das praias se a espessura dos pacotes sedimentares a serem explorados tiverem no mínimo 1 metro. Medeiros (2010), através de métodos geoacústicos, calculou volumes para jazidas ao largo do litoral de Niterói e Maricá que somam aproximadamente 33 milhões de metros cúbicos de areias médias, para pacotes com espessura de 2 metros.

As praias de Itaipuaçu em Maricá e o meio e canto norte da Prainha de Arraial do Cabo por serem constituídas por areias muito grossa e grossa respectivamente, não apresentaram nenhuma área próxima favorável para extração de sedimentos compatíveis. Sítios mais distantes na plataforma continental interna teriam de ser explorados, aumentando ainda mais o custo final da obra. As demais praias possuem ao largo de seus litorais áreas de depósitos de sedimentos que provavelmente poderiam suprir à necessidade das mesmas (Tab.6).

O custo médio para esse tipo de projeto de engenharia costeira está na ordem de U\$1000 a U\$3000 para cada metro de praia (DEAN, 2002). Segundo Menezes (2002) a partir de informação verbal do engenheiro Thomas Campbell (julho 2002) o custo do metro cúbico de sedimento para alimentação artificial irá variar em função da distância entre a praia e jazida; de 2 a 4 dólares para distâncias menores que 6 Km e de 4 a 6 dólares para distância superiores.

Ou seja, em um projeto hipotético de alimentação artificial da praia de Manguinhos, a mais extensa das estudadas com aproximadamente 7 km de extensão, o custo para aumento da faixa de areia em 50 metros estaria orçado entre 10 a 30 milhões de dólares, levando em consideração as duas estimativas de custo citadas acima.

Portanto, como primeira aproximação, o mapeamento do diâmetro médio dos sedimentos superficiais da plataforma continental interna vem a contribuir como subsídio para o desenvolvimento de outras etapas de futuros projetos de recuperação das praias. Estudos mais detalhados das sub-áreas das jazidas que realmente serão exploradas, a espessura do depósito (através de testemunhos geológicos e métodos geoacústicos), assim como da hidrodinâmica do local são fundamentais para cálculos mais precisos. Aspectos biológicos da região da jazida *offshore* e da praia também têm de ser precisamente levantados, de modo que seja determinada uma estratégia de dragagem de mínimo impacto e máxima recuperação da área de empréstimo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBINO, J. 1994. Morfodinâmica e processos de sedimentação nas praias da Barra de São José do Barreto, Macaé – RJ. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Geografia. UFRJ. 1994

BRUUN, P., 1954. Coastal Erosion and the Development of Beach Profiles, Technical Memorandum No. 44, U.S. Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, Vicksburg, MS.1954

CAMPBELL, T.J.; DEAN, R.G.; MEHTA A.J.; WANG, H. 1990. Short course on principles and applications of beach nourishment. University of Florida, 1990.

DEAN, R.G., 1974. Compatibility of Borrow Material for Beach Fills, *Proceedings of 14th International Conference on coastal Engineering*, ASCE, pp. 1319-1330.

DEAN, R.G., 1991. Equilibrium Beach Profiles: Characteristics and Applications, *Journal of Coastal Research*, Vol. 7(1), pp.53-84.1991.

DEAN, R. G. 2002. Beach Nourishment: theory and practice. University of Florida. USA. 2002.

DEAN, R.G.; DALRYMPLE, R.A. 2002. Coastal processes with engineering applications. Cambridge, Cambridge University Press. 475p. 2001

FERNANDEZ, G.B.; MUEHE, D.1995. Cobertura sedimentar recente e batimetria da plataforma continental interna entre Macaé e o cabo Búzios - RJ. *VI Simpósio Nacional de Geografia Física e Aplicada. Anais. 1* :196-203. 1995.

FOLK, R.L. 1968. *Petrology of Sedimentary Rocks*. The University of Texas. Geology, 370K, 38L, 383M. Hemphillís, Austin Texas, 170p. 1968

FOLK, R.L; WARD, W.C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*. v.23: p. 3-26. 1957

HESP, P. ; HILTON, M.J. Nearshore surfzone limits and the impacts of sand extraction. *Journal of Coastal Research* 12(3).1996.

JAMES, W.R 1975. Techniques in evaluating suitability of borrow material for beach nourishment. TM-60. Coastal engineering research center, United States Army Engineer Waterways Experiments Station, Vicksburg, Miss.1975

KRUMBEIN, W.C ; JAMES, W.R. 1965. A lognormal size distribution model for estimating stability of beach fill material. United States Army Coastal Engineering Research Center, Technical Memorandum 16, 1965.17p

LANDIM, P.M.B. 2003. Análise estatística de dados geológicos. Ed: UNESP. São Paulo. 2003.

LINS-DE-BARROS, F.M. 2005. Risco e Vulnerabilidade à Erosão Costeira no Município de Maricá, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005. 147f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2005.

LINS-DE-BARROS, F.M. 2010. Contribuição metodológica para análise local da vulnerabilidade costeira e riscos associados: estudo de caso da Região dos Lagos, Rio de Janeiro. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFRJ. 2010

MACHADO, G.M.V. 2010. Análise morfossedimentar da praia, antepraia e plataforma continental interna da linha de costa do Parque Nacional de Jurubatiba – Rio de Janeiro. *Quaternary and Environmental Geoscience*. Vol.2(1):01-17.

MARTINS, L.R; TOLDO Jr, E.E. 2006. Estoque arenoso da plataforma continental: Um recurso estratégico para a zona costeira. *Gavel*. Vol.4: p.37-47. 2006

- MEDEIROS, N.S. 2010. Mapeamento de jazidas de areias quartzosas na plataforma continental interna do Rio de Janeiro: Trecho entre Fortaleza de Santa Cruz - Itaipuaçu. Monografia de Graduação em Oceanografia. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 78p. 2010
- MENEZES, J.T. 2002. Alimentação Artificial do Segmento Praial Navegantes/Gravatá, SC. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. UFSC. 114p. 2002
- MENEZES, J.T. 2004. Alimentação artificial de praias arenosas oceânicas: Uma revisão conceitual. Monografia para exame de qualificação. Programa de Pós-Graduação em Geociências. UFRGS. 69p. 2004
- MUEHE, D. 1989. Distribuição e caracterização dos sedimentos arenosos da plataforma continental interna entre Niterói e Ponta Negra. *Revista Brasileira de Geociências*. 19(1):24-36. 1989.
- MUEHE, D. 2004. Definição de limites e tipologias da orla sob os aspectos morfodinâmico e evolutivo. *In: Ministério do Meio Ambiente e Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (org.). Projeto Orla: subsídios para um projeto de gestão*. MMA e MPO, Brasília, 104p. 2004.
- MUEHE, D. 2006. Erosão e progradação no litoral brasileiro. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 476p. 2006
- MUEHE, D. 2010. Brazilian coastal vulnerability to climate change. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 5(2). P. 173-183. 2010
- MUEHE, D. 2011. Erosão costeira – Tendência ou eventos extremos? O litoral entre Rio de Janeiro e Cabo Frio, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management* 11(3):315-325. 2011

MUEHE, D. & CARVALHO, V.G. 1993. Geomorfologia, cobertura sedimentar e transporte de sedimentos na plataforma continental interna entre a Ponta de Saquarema e o Cabo Frio (RJ). *Boletim do Instituto Oceanográfico*. Universidade de São Paulo. SP. 41(1/2), 1993

MUEHE, D. e VALENTINI, E. 1998. O Litoral do Estado do Rio de Janeiro: uma caracterização físico-ambiental. Rio de Janeiro: Ed. FEMAR., 99 p. 1998.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1995. Beach nourishment and protection. Committee on beach nourishment and protection. Marine board. Commission on engineering and technical systems. Washington, DC.334p

SAAVEDRA, L.; MUEHE, D. 1993. Innershelf morphology and sediment distribution in front of Cape Frio – Cape Búzios embayment. *JOPS-I Workshop. Brazilian German Victor Hense Programme Joint Oceanographic Projects*. Niterói. RJ.p. 29. 1993

SILVA, A.G. 1985. Sedimentação e morfologia do fundo da plataforma continental interna nas proximidades da Ilha do Cabo Frio, RJ. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFRJ. 126 p. 1985

SOUZA, O.F. 1991. Associação de moluscos e equinodermos da plataforma continental interna entre Cabo Frio e Saquarema. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Geografia, UFRJ. 142p. 1991

U.S. ARMY CORP OF ENGINEERS, COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER – Shore protection manual. Vol. I e II, Ed. Fourth, 1984.

VERA-CRUZ, D. 1972. Artificial Nourishment of Copacabana Beach. Proceedings of the International Conference on Coastal Engineering. No 13. Chapter 80. 1972

WENTWORTH, C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30: 377-392. 1922.