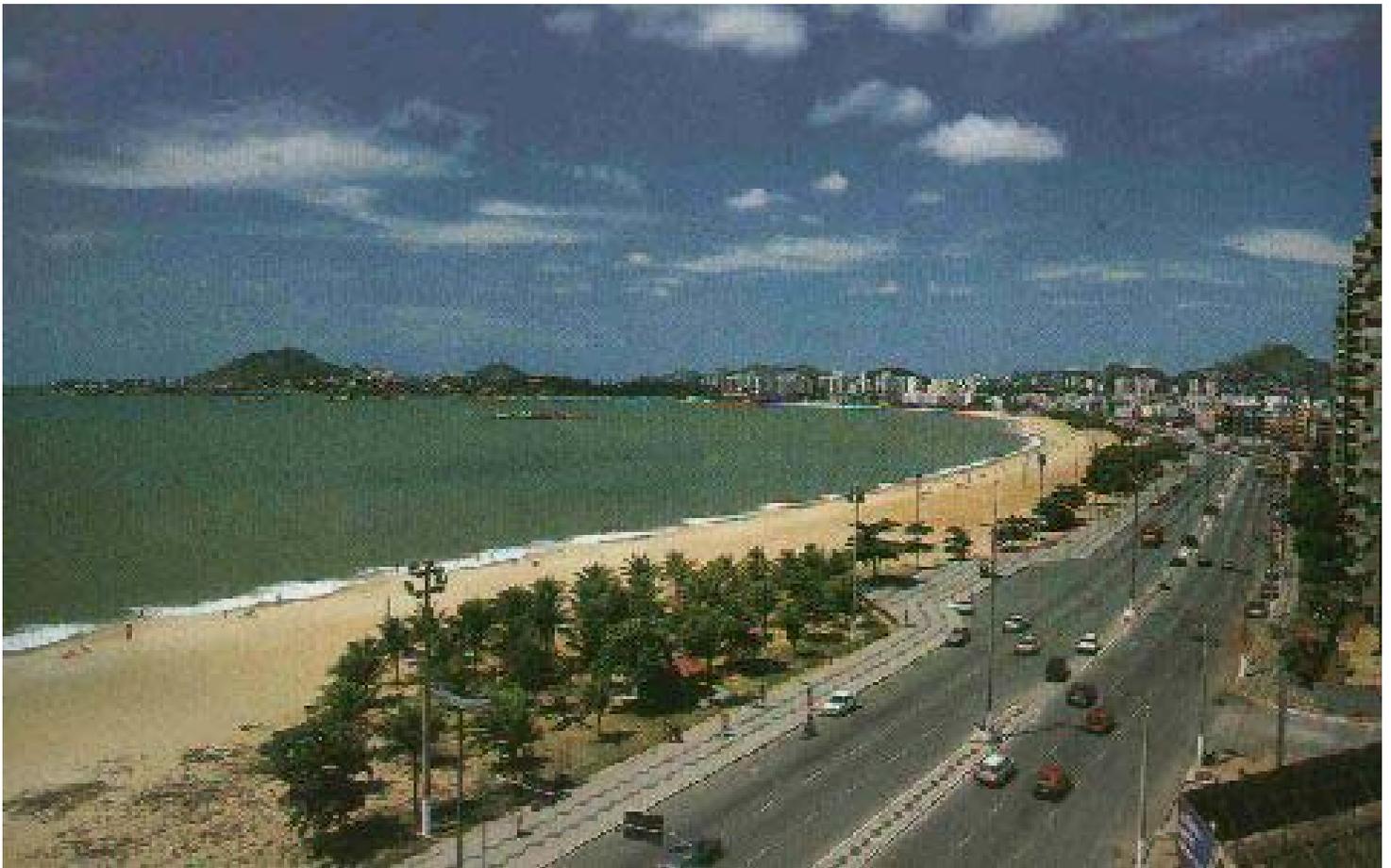


UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

RAFAEL DE CASTRO SCOTTÁ DOS PASSOS



VITÓRIA
2004

RAFAEL DE CASTRO SCOTTÁ DOS PASSOS

**Varição morfotextural da praia de Camburi, Vitória –
ES, após engordamento artificial**

Monografia de conclusão de curso, apresentada ao Departamento de Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção de graduação em Oceanografia.

Orientadora: Prof^a Dr^a Jacqueline Albino

VITÓRIA
2004

RAFAEL DE CASTRO SCOTTÁ DOS PASSOS

**Varição morfotextural da praia de Camburi, Vitória – ES, após
engordamento artificial**

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Jacqueline Albino
Orientadora – UFES/DERN

Prof. Msc. Luiz Machado Filho
Examinador Interno – UFES/DERN

Prof. Dr. Julio Tomás Quije Chacaltana
Examinador Externo – UFES/DEA

Vitória (ES), _____ de _____ de 2004

“Dedico esta obra à memória de meus pais, Hirno e Rosali Passos, que se empenharam muito para que eu tivesse a oportunidade de chegar até aqui; e a Deus que me deu forças para realizar tal feito”.

AGRADECIMENTOS

À Prof^a. Dra. Jacqueline Albino que demonstrou muita paciência, compreensão e sinceridade para me orientar na elaboração desta obra;

Aos colegas da equipe de sedimentologia que contribuíram, e com muita boa vontade, para a realização das atividades de campo;

Ao Departamento de Ecologia que teve o laboratório e equipamentos necessários disponíveis para o emprego nas atividades de campo e laboratoriais;

Aos funcionários dos órgãos ambientais (IEMA e SEMAM), pelo bom atendimento;

Aos colegas da oceanografia pelos desabafos e apoio nos momentos mais difíceis desta caminhada;

E àqueles, que não foram citados, mas de alguma forma contribuíram para o melhor desempenho na elaboração desta obra.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Localização da área de estudo, a Praia de Camburi, e a jazida de onde foi retirado o material sedimentar para o engordamento, Vitória, ES.....	12
Figura 2.2 – Regime dos ventos no litoral capixaba em condições normais.....	14
Figura 2.3 – Frequência relativa para a altura e período médio, respectivamente	15
Figura 2.4 – Padrão de chegada das ondas de NE (45° a partir do N, 0°) na Baía do Espírito Santo	16
Figura 2.5 – Padrão de chegada das ondas de E-SE (105° a partir do N, 0°) na Baía do Espírito Santo	17
Figura 2.6 – Padrão de chegada das ondas de S-SE (107° a partir do N, 0°) na Baía do Espírito Santo	18
Figura 2.7 – Mapa Batimétrico da Baía do Espírito Santo e respectiva plataforma continental interna	19
Figura 2.8 – Mapa faciológico da Baía do Espírito Santo.....	20
Figura 3.1 - Parâmetros da onda.....	25
Figura 3.2 - Aumento da assimetria e esbeltez da onda ao se aproximar da linha de costa	27
Figura 3.3 - Comparação da geração de vortex e penetração da coluna da água pelas ondas de arrebentação deslizante (A) e mergulhante (B).....	28
Figura 3.4 - Refração de ondas em águas rasas	29
Figura 3.5 - Efeito de difração em ilha.....	30
Figura 3.6 - Mapa batimétrico da plataforma continental interna de Macaé mostrando o desenvolvimento do tómbolo submarino por sombreamento e dissipação das ondas	31
Figura 3.7 - Corrente longitudinal e corrente de retorno.....	32
Figura 3.8 - Ganhos e perdas de sedimento da praia	34
Figura 3.9 - Seqüência típica de configurações de um perfil de praia com detalhes da concavidade da praia em construção	39
Figura 3.10 - Características morfológicas dos estados de praia (A) dissipativo; (B) intermediário; e (C) refletivo	41
Figura 3.11 - Diagrama de dois espigões de praia. O sedimento depositado constrói uma praia larga na região adjacente ao espigão receptora da corrente longitudinal, e na região adjacente do espigão protegida da corrente há uma erosão	42
Figura 3.12 - Diagramas ilustrando os efeitos de quebra-mares (acima e meio) e molhe (abaixo) mostrando os locais padronizados por erosão e deposição.....	43
Figura 3.13 - Exemplos de engordamento de praia	45
Figura 4.1 – Mapa indicando a localização das Estações praias (P1 - P16) e Grupos (G I – V) de Perfis discutidos e da Ilha do Socó.....	48
Figura 5.1 – Levantamento topográfico do Grupo I, Perfil 1	56
Figura 5.2 – Levantamento topográfico do Grupo II	57
Figura 5.3 – Levantamento topográfico do Grupo III	59
Figura 5.4 – Levantamento topográfico do Grupo IV.....	60

Figura 5.5 – Levantamento topográfico do Grupo V.....	62
Figura 5.6 – Variação da distância entre as cristas dos bermas e a calçada em 1998, 2000, 2001 e 2003.....	64
Figura 5.7 – Histogramas das Estações praias 1, 3, 5 e 7	68
Figura 5.8 – Histogramas das Estações praias 9, 12, 13 e 16	70
Figura 5.9 - Variação do diâmetro médio (Mz) ao longo da Praia de Camburi com o passar dos anos.....	66
Figura 5.10 – Comparação entre linha da crista do berma e o diâmetro médio ao longo da praia de Camburi, nos anos de 2000, 2001 e 2003.....	71

Lista de Tabelas

TABELA 2.1	22
AS PROVÁVEIS CAUSAS DA EROÇÃO NA PRAIA DE CAMBURI, VITÓRIA - ES E AS MODIFICAÇÕES DESENCADEADAS SOBRE OS PROCESSOS COSTEIROS	22
TABELA 3.1	27
CLASSIFICAÇÃO DE WENTWORTH (1922) DE TAMANHO DE GRÃOS DE SEDIMENTO PELOS SEUS RESPECTIVOS DIÂMETROS.....	35
TABELA 3.2.....	36
O PACOTE LITORÂNEO DE SEDIMENTO.....	36
TABELA 4.1	49
LOCALIZAÇÃO DOS 16 PERFIS CORRESPONDENTES AO TRABALHO DESCRITO NA METODOLOGIA	49

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Apresentação e Justificativa	10
1.2 Objetivos.....	11
1.2.1 Objetivo geral	11
1.2.2 Objetivos específicos	11
2. ÁREA DE ESTUDO	12
2.1 Localização.....	12
2.2 Aspectos Físicos	12
2.2.1 Geologia e Geomorfologia	12
2.2.2 Clima e Oceanografia	13
2.2.3 Morfodinâmica da praia de Camburi e Baía do Espírito Santo	15
2.3 Histórico do uso e ocupação.....	20
3. EMBASAMENTO TEÓRICO	25
3.1 Processos Costeiros	25
3.1.1 Ondas e Correntes.....	25
3.1.2 Sedimentos praias.....	33
3.1.3 Dinâmica praial	39
3.2 Estruturas de engenharia.....	41
3.2.1 Estruturas sólidas (hard structures).....	41
3.2.2 Outras formas de contenção (soft structures).....	44
4. MATERIAS E MÉTODOS	47
4.1 Levantamento e tratamento de dados pretéritos.....	47
4.1.1 Fonte.....	47
4.1.2 Dados topográficos	47
4.1.3 Dados granulométricos	47
4.2 Levantamento do campo.....	47
4.2.1 Dia da amostragem e determinação das estações praias	47
4.2.2 Levantamento topográfico.....	50
4.2.3 Coleta e análise granulométrica.....	51
4.3 - Superposição das informações	53
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
5.1 Variação morfológica da praia ao longo dos 5 anos	55
5.1.1 Variação transversal	55
5.1.2 Variação longitudinal.....	63

5.2 Variação granulometria ao longo da praia	65
5.2.1 Caracterização	65
5.2.2 Distribuição espacial da morfologia e granulometria	69
5.3 Variação morfotextural	72
5.4 Avaliação das recentes intervenções	73
6. CONCLUSÃO	75
7. REFERÊNCIAS	77
ANEXOS	80

RESUMO

Considerando as recentes intervenções na Praia de Camburi, como a construção de espigões e o engordamento artificial, o presente trabalho identifica o ajuste morfotextural da praia e avalia o sucesso de tal intervenção através da compilação de dados topográficos e granulométricos dos últimos 5 anos. Com o engordamento observa-se que a praia mantém a faixa de areia mais extensa e com diferenças morfológicas associadas aos distintos comportamentos morfodinâmicos ao longo da praia, já verificados antes do engordamento. Os perfis tendem à reflexividade e à estabilidade, indicando o sucesso da intervenção decorridos 4,5 anos. O trabalho é justificado pela contribuição para as futuras ações no sistema costeiro.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação e Justificativa

Como resultado do crescimento global do nível do mar (efeito natural) e ocupação da zona costeira (efeito antrópico), a erosão costeira está sendo reconhecida como um sério problema nacional e mundial. Comparada com outros grandes problemas naturais como terremotos, ciclones tropicais, ou enchentes, a erosão costeira é um processo mais contínuo e previsível, e uma larga importância financeira é requerida para controlá-la. Os sedimentos de diversas praias são supridos para essas áreas costeiras por diferentes meios, como os rios que os transportam para as áreas de desembocaduras de onde se tem uma grande produção de sedimentos ricos em quartzo e feldspato. Logo a construção de represas, bem como outros obstáculos interferem no deslocamento desses grãos, pois servem como armadilhas de sedimento (KELLER, 1992).

O perfil transversal de uma praia varia com ganho ou perda de areia, de acordo com energia das ondas, ou seja, de acordo com as alternâncias entre tempo bom (engordamento) e tempestade (erosão). Desta forma, ao adaptar seu perfil às diferentes condições oceanográficas, a praia desempenha papel fundamental na proteção do litoral contra a erosão marinha (MUEHE, 1993).

Segundo Keller (1992), estruturas de engenharia no ambiente costeiro são primariamente designadas a sofisticar a navegação ou retardar a erosão. Eles incluem espigões, quebra-mares, e molhes. Como eles tendem a interferir no transporte litorâneo de sedimento ao longo da praia, todas estas estruturas causam freqüentemente indesejável erosão na adjacência delas.

Há também técnicas de estabilização estrutural sem que seja necessária a utilização de material rochoso ou estrutura de concreto, estas incluem o “engordamento praias” (beach nourishment), “terraplanagem praias” (beach bulldozing), criação de duna, restauração, e modelagem de forma (GREENE, 2002).

A Praia de Camburi é um dos maiores locais de lazer e recreação, tanto para a população local, quanto ao turismo. A praia de Camburi localiza-se ao norte do município de Vitória, capital do Estado do Espírito Santo, e está situada entre as coordenadas 20° 20'S e 40° 15'W. Consiste em uma enseada de 6 km de extensão (COSTA, 1989), e já passou por diversos processos de intervenções, resultado das tentativas de contenção da erosão iniciada com a construção do Complexo de Tubarão (ALBINO et al, 2000).

Considerando as recentes intervenções na Praia de Camburi, como a construção de espigões e o engordamento artificial, o presente trabalho avalia o sucesso de tal intervenção e justifica-se pela contribuição para as futuras ações no sistema costeiro, identificando os processos costeiros, o balanço sedimentar e dos distintos comportamentos morfodinâmicos dos trechos ao longo da praia, por meio da superposição dos dados de topografia e granulometria nos últimos 5 anos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O trabalho tem como objetivo geral conhecer a variação morfotextural da praia de Camburi Vitória – ES, após o engordamento artificial e construção do 3º espigão.

1.2.2 Objetivos específicos

- (a) Identificar setores com distintos comportamentos morfodinâmicos;
- (b) Avaliar a eficácia do engordamento artificial e do 3º espigão na contenção do processo erosivo.

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização

A praia de Camburi (Figura 2.1) localiza-se ao norte do município de Vitória, capital do Estado do Espírito Santo, e está situada entre as coordenadas 20° 20'S e 40° 15'W. Consiste em uma enseada de 6 km de extensão que tem como limite sul os afloramentos rochosos do embasamento cristalino, representado pelo Morro do Colégio Sagrado Coração de Maria e ao norte por uma saliência dos tabuleiros da Formação Barreiras (COSTA, 1989).

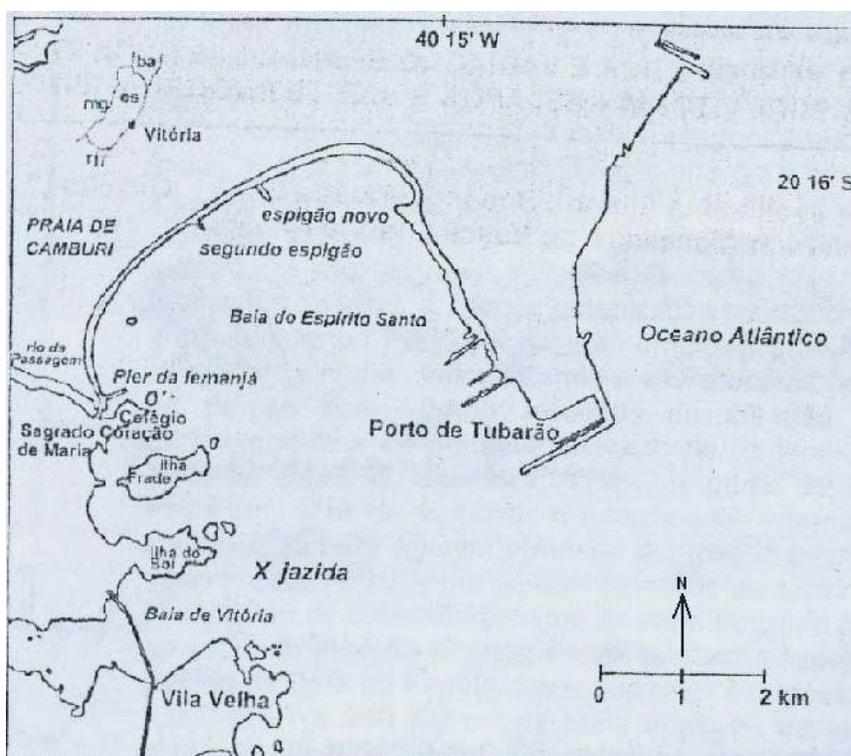


Figura 2.1 – Localização da área de estudo, a Praia de Camburi, e a jazida de onde foi retirado o material sedimentar para o engordamento, Vitória, ES

FONTE: Albino et al, 1999 (modificado)

2.2 Aspectos Físicos

2.2.1 Geologia e Geomorfologia

Segundo Martin et al (1996) o município de Vitória encontra-se situado em um trecho da costa capixaba onde os afloramentos do cristalino alcançam a linha de

costa, sendo responsáveis por um litoral recortado, onde são identificados trechos expostos e protegidos das ações diretas das ondas (OLIVEIRA, 1995). Os afloramentos laterizados dos sedimentos da Formação Barreiras são encontrados na plataforma continental interna, dissipando a energia das ondas (ALBINO & OLIVEIRA, 1995; ALBINO, 1999).

Geomorfologicamente, podemos dividir a região de Vitória na Baía de Vitória, que é composta por uma porção insular granítica circundada pelo estuário da Baía de Vitória, e a Baía do Espírito Santo, correspondendo à enseada e à zona submersa adjacente da Praia de Camburi, localizada na porção continental de planície marinha/fluvial quaternária (ALBINO, 2001).

2.2.2 Clima e Oceanografia

2.2.2.1 Aspectos climáticos

O clima deste trecho do litoral brasileiro é do tipo W pseudo-equatorial, classificação de Köppen (1948, apud MARTIN et al. 1993, apud ALBINO 1999). A região encontra-se em zona caracterizada por chuvas tropicais de verão, com estação seca durante o outono e inverno. Porém, as duas últimas estações podem registrar precipitações frontais de descargas devidas às massas polares. A temperatura média anual é de 22° C, ficando a média das máximas entre 28° e 30° C, enquanto que as mínimas apresentam-se em torno de 15° C.

Tanto os dados levantados pelo Centro Tecnológico de Hidráulica da Universidade de São Paulo (CTH/USP) entre fevereiro de 1972 e janeiro de 1973 (BANDEIRA et al. 1975, apud ALBINO 1999), quanto os fornecidos pela EMCAPA (1981, apud ALBINO 1999), demonstram que os ventos de maior frequência e maior intensidade são os provenientes dos quadrantes NE-ENE e SE, respectivamente.

Os primeiros estão associados aos ventos alísios, que sopram durante a maior parte do ano, enquanto que os de SE estão relacionados às frentes frias que chegam periodicamente à costa capixaba (Figura 2.2).



Figura 2.2 – Regime dos ventos no litoral capixaba em condições normais.

FONTE: Martin et al, (1993)

2.2.2.2 Ondas

Partindo dos dados obtidos pela CTH/USP em 1972-1973 na planície deltáica do Rio Doce, percebe-se que as ondas procedem de dois setores principais E-NE e E-SE, com predominância de E-NE (Bandeira et al. 1975). Tais ondas são geradas pelos dois sistemas de ventos existentes na região. Segundo Albino et al (2001), as ondas do setor sul (S-SE), associadas às frentes frias, embora sejam menos freqüentes, são mais energéticas do que as do quadrante NE, e nem por isso são menos importantes devido a intensidade e capacidade de erosão das praias.

Segundo Homsí (1978), dados de clima de onda para o litoral brasileiro são escassos e limitados aos levantamentos nas áreas próximas aos portos por ocasião de suas construções. Segundo Albino et al (2001), para a área estudada, os dados obtidos pelo INPH (Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias), entre março de 79 a setembro de 80, nos arredores do Porto de Tubarão, Vitória, foram utilizados pela RAM Engenharia (1994) para a determinação do clima de ondas (Figura 2.3).

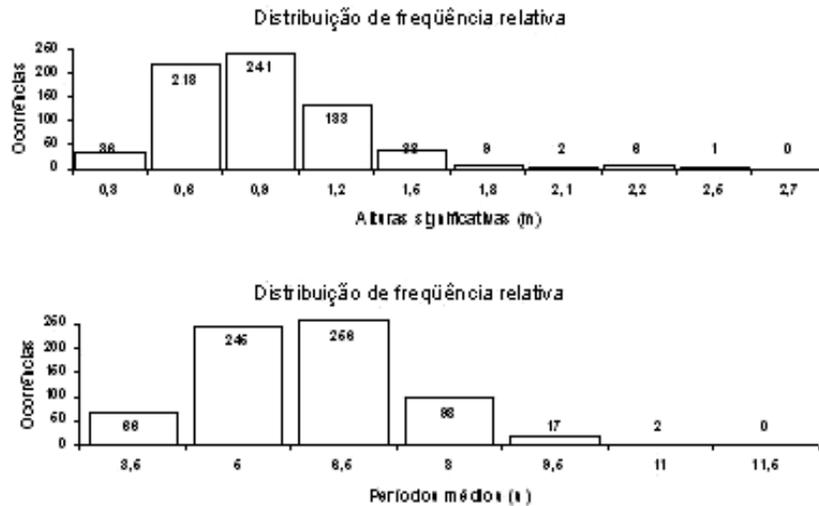


Figura 2.3 – Frequência relativa para a altura e período médio, respectivamente

FONTA: RAM Engenharia Ltda, 1994, apud Albino 2001.

Pela figura 2.3 podemos dizer que as alturas significativas das ondas para o litoral ultrapassam 1,5m em pouco, sendo as alturas de 0,9 e 0,6m de maior frequência. Já o período freqüente está em torno de 5 a 6,5s, não ultrapassando 9,5s.

2.2.2.3 Maré

O litoral capixaba tem a sua amplitude de maré variando entre 1,40 e 1,50m (de acordo com o DNH – Diretoria de Hidrografia e Navegação, 1994), valor característico de litoral submetida micromaré (menor que 2m).

2.2.3 Morfodinâmica da praia de Camburi e Baía do Espírito Santo

2.2.3.1 Ondas

Segundo Albino et al 2001, a dissipação de ondas se dá aproximadamente entre isóbatas de 25 a 30m, e chegam em Camburi basicamente em três direções: nordeste (NE), leste-sudeste (E-SE) e sul-sudeste (S-SE).

As ondas de direção NE (45° a partir do N, 0°) ao chegarem na costa apresentam uma altura que varia de 0,9 a 1,2m, sendo menores que as alturas das águas intermediárias e profundas (Figura 2.4)(ALBINO et al,2001).

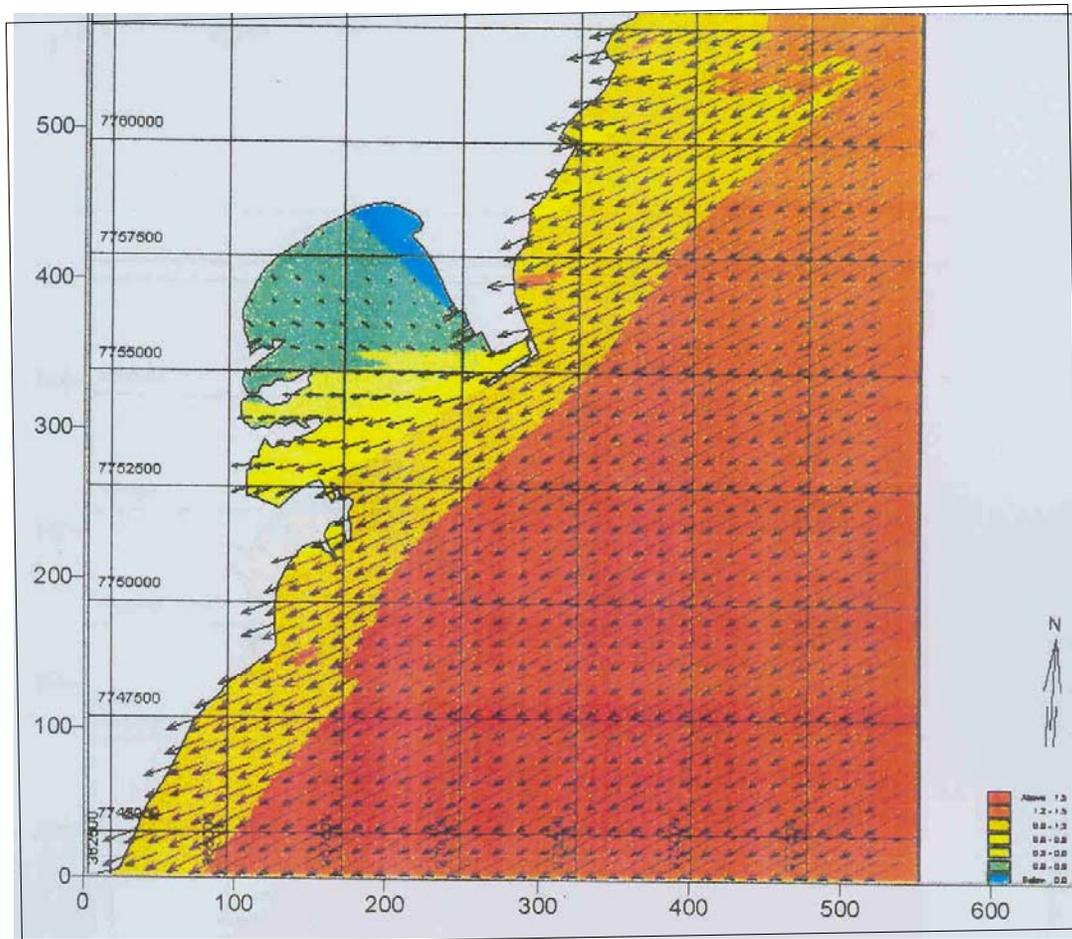


Figura 2.4 – Padrão de chegada das ondas de NE (45° a partir do N, 0°) na Baía do Espírito Santo, onde as setas indicam a direção e sentido do trem de ondas.

FONTE: Albino et al, 2001

As ondas de direção E-SE (105° a partir do N, 0°) chegam a costa conservando as alturas e direções das ondas de águas profundas (Figura 2.5). Sendo tais ondas desenvolvidas através da passagem de frentes frias, elas apresentam-se conseqüentemente mais altas, com alturas que variam de 1,2 a 1,4m. Como a entrada da Baía de Camburi é voltada para SE, as ondas pertinentes a esta direção sofrem menor perda de energia chegando à praia com altura de 0,4 a 1,0m. A variação na altura das ondas que chegam a praia é devido a presença da Ilha do Socó que ocasiona o fenômeno de difração ao servir de obstáculo a propagação do trem de ondas, gerando na região entre a ilha e a praia uma área de sombreamento (ALBINO, 2001).

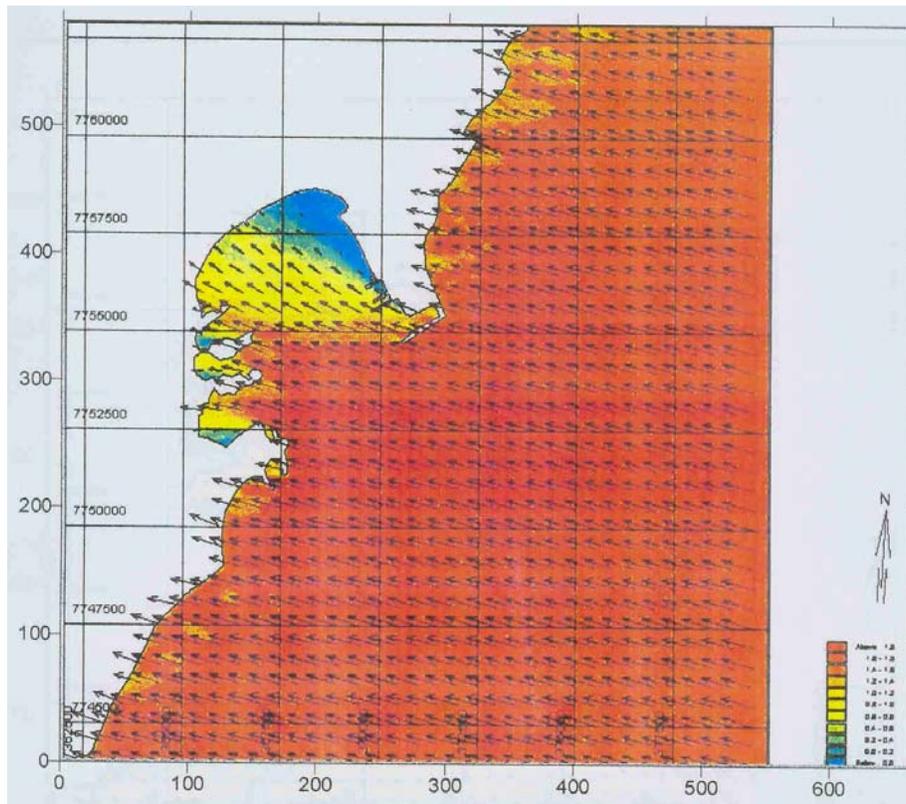


Figura 2.5 – Padrão de chegada das ondas de E-SE (105° a partir do N, 0°) na Baía do Espírito Santo, onde as setas indicam a direção e sentido do trem de ondas.

FONTE: Albino et al, 2001

As ondas de direção S-SE (170° a partir de N 0°) também são desenvolvidas com a chegada de frentes frias intensas, elas sofrem dentro da baía uma dissipação e difração em torno da Ponta do Tubarão chegando a praia com alturas de 0,2 a 0,6m e 90° em relação à linha da costa (Figura 2.6)(ALBINO, 2001).

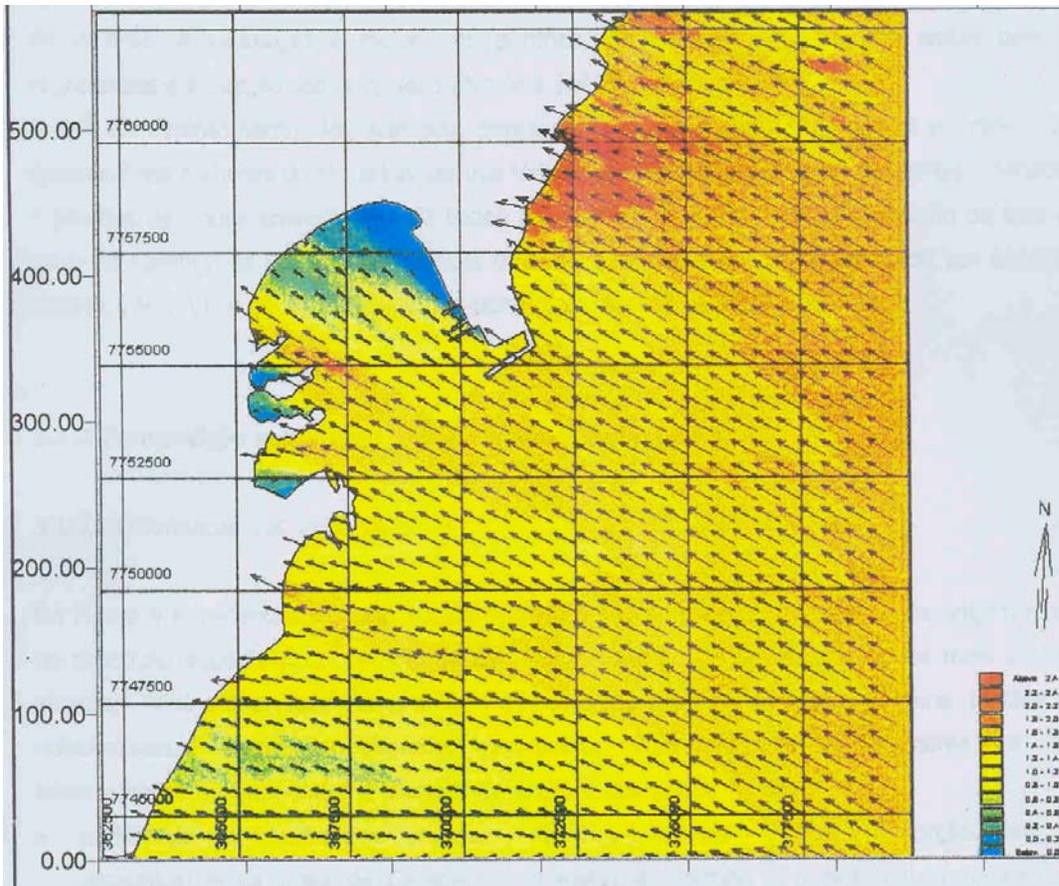


Figura 2.6 – Padrão de chegada das ondas de S-SE (107° a partir do N, 0°) na Baía do Espírito Santo, onde as setas indicam a direção e sentido do trem de ondas.

FONTE: Albino et al, 2001

2.2.3.2 Morfologia e Faciologia da Baía do Espírito Santo

2.2.3.2.1 Perfil batimétrico

Segundo Albino et al 2001, a Baía do Espírito Santo apresenta moderada a baixa declividade, diminuindo a medida em que se aproxima da linha de costa, sendo que as cotas batimétricas da Praia de Camburi longitudinalmente rumo a Ponta de Tubarão decrescem (Figura 2.7).

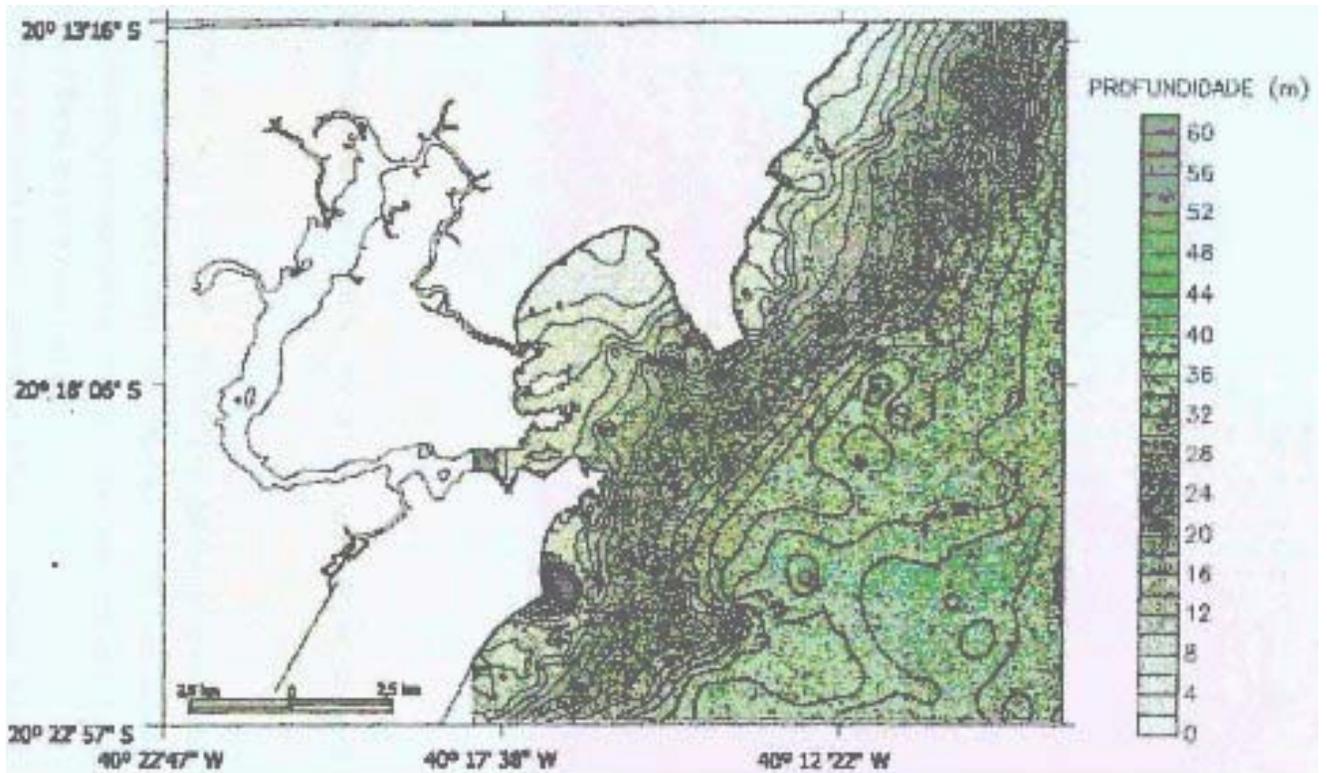


Figura 2.7 – Mapa Batimétrico da Baía do Espírito Santo e respectiva plataforma continental interna

FONTE: Albino et al, 2001

2.2.3.2.2 Sedimento

Segundo Albino et al 2001, a partir dos dados de composição textural determinou-se a distribuição faciológica da plataforma continental interna e da Baía do Espírito Santo, sendo identificados três grupos de diferentes composições: material litoclástico (tons de azul, grupo predominante após o engordamento segundo ALBINO, 2001), material misto (tons de verde) e material bioclástico (tons de vermelho) como mostrado na Figura 2.8.

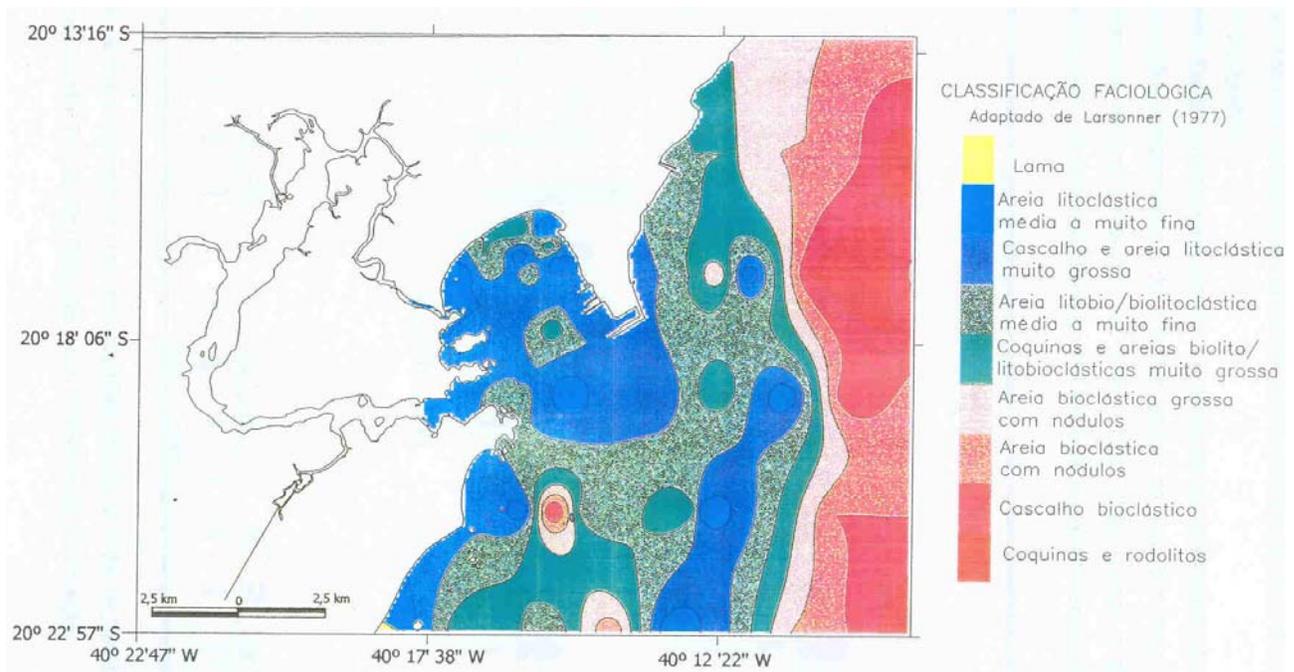


Figura 2.8 – Mapa faciológico da Baía do Espírito Santo

FONTE: Albino et al, 2001

Segundo Albino et al 2001, a Praia de Camburi é composta por areias muito pobremente selecionadas e aproximadamente selecionada, variando geralmente de médias a grossas. Segundo Albino & Oliveira (2000), a granulometria das areias da Praia de Camburi apresentava fração fina logo após engordamento, a qual foi sendo retirada da praia gradativamente ao longo tempo pela ação de ondas, e que está sendo parcialmente transportada longitudinalmente ou para a zona submersa próxima.

Segundo Albino (2001) a textura das areias utilizadas na obra, retiradas de uma jazida submersa próxima ao canal de acesso à Baía de Vitória (conforme indicado na figura 2.1), indica o predomínio da areias grossas e médias, com os maiores pesos retidos entre 0,00 e 1,50 phi e moderado a pobre grau de seleção.

2.3 Histórico do uso e ocupação

Com a construção do Porto de Tubarão na enseada de Camburi na década de 60, as ondas incidentes da Praia de Camburi sofreram consideráveis alterações em

suas características originais o que levou a praia ao início de um processo erosivo (ARAÚJO et al. 2000). O complexo portuário alterou o padrão de chegada das ondas, intensificando a altura destas na porção central da praia e decréscimo na porção norte, como resultado da difração e refração das ondas a partir do enroncamento e de um canal dragado de 21m de profundidade transversais à Ponta de Tubarão (MELO & GONZÁLES 1995, apud ALBINO 1999). A realização de aterros na faixa litorânea e a construção de 2 espigões (2º e 3º espigão, descritos adiante) transversais à praia foram algumas intervenções realizadas para solucionar o processo erosivo. O material sedimentar utilizado para tal aterro era o mesmo dragado do canal da Ponta do Tubarão, que era assoreado justamente pelo sedimento que era perdido da praia por processo de erosão sendo então levados para a região. Entretanto esta erosão agravou-se ameaçando o calçadão e exigindo das autoridades locais providências no sentido de conter a erosão praial (ALBINO & OLIVEIRA, 2000).

Como tal processo erosivo ganhou grande intensificação nos últimos anos da década de 90, em 1999 a Praia de Camburi deu-se início à construção do seu terceiro espigão, juntamente com a retirada de areia da zona submersa e sua deposição em regiões da praia com maiores taxas de erosão.

Realizou-se então um trabalho (ARAÚJO et al. 2000) com o objetivo de fazer uma caracterização granulométrica das areias da praia em 6 pontos ao longo da praia antes e depois da intervenção para verificação da adaptação granulométrica da praia no período de 23 meses. Constatou-se de tal trabalho que antes da intervenção as areias referentes aos primeiros 3km da Praia de Camburi, a partir do canal da passagem, que corresponde a área de maior erosão, apresentavam-se grossas, com grau de seleção moderado a bom e assimetria para o lado dos sedimentos grossos; e depois da intervenção, houve o afinamento das areias, que apresentaram-se médias a grossas, e o empobrecimento do grau de seleção, que indicaram a textura mais fina do material despejado em relação ao já encontrado na praia.

Segundo Albino et al (2001 apud Facitec, 2000) o terceiro espigão é próximo ao Hotel Porto do Sol e possui 180m de extensão; foi também acrescentado 70m no segundo espigão. Foram também despejados 730 mil m³ de areia, retiradas de jazidas da Baía do Espírito Santo (Figura 2.1), entre os espigões 1 e 2 (até 2800m a partir do Canal da Passagem) e 240 mil m³ de areia entre os espigões 2 e 3 (até 3500m). O material despejado no engordamento apresentava um predomínio de areias grossas e médias, de phi entre 0,00 e 1,50 (ALBINO, 2001).

Segundo Albino et al (1999) as possíveis causas para erosão e as modificações realizadas sobre os processos costeiros é dada pela Tabela 2.1.

TABELA 2.1

AS PROVÁVEIS CAUSAS DA EROSÃO NA PRAIA DE CAMBURI, VITÓRIA - ES E AS MODIFICAÇÕES DESENCADEADAS SOBRE OS PROCESSOS COSTEIROS.

	Principais intervenções	Alteração hidrosedimentar
Década de 60	Construção do complexo portuário de Tubarão em 1964	<p>Alteração no padrão de entrada de ondas</p> <p>A difração das ondas em torno da ponta de Tubarão e refração pelo canal dragado causa a convergência das ortogonais das ondas provenientes de E-NE fazendo com que estas alcancem a porção central da praia com maior energia, causando erosão (MELO & GONZALES, 1995).</p> <p>Destruição das dunas frontais</p> <p>Aterro realizado para a construção da orla marítima</p> <p>Diminui o volume de areias livres e disponíveis para a adaptação topográfica a partir do intercâmbio praia-duna em situações de maior energia das ondas.</p>

Diminuição da extensão longitudinal da praia.

Dragagem de areia em zonas submersas.

Aumento da profundidade da zona submersa

A fim de viabilizar o tráfego dos navios de grande calado é necessária a dragagem periódica de um canal profundo aproximadamente paralelo a linha de praia. Inicialmente com 17 metros passa a ter mais de 21 m. A alteração na profundidade da baía do Espírito Santo diminui a dissipação da energia das ondas rumo a praia e concentram na porção central as ondas refratadas.

Década de		Obras para represar os sedimentos transportados paralelamente à praia
70	Construção de 2 espigões transversais à linha de costa, a fim de represar os sedimentos transportados pela corrente longitudinal.	A solução encontrada para conter a erosão da praia foi na verdade a responsável pela erosão intensificada e localizada em alguns trechos da praia de Camburi. Os espigões são responsáveis pelo engordamento a barlar da direção da corrente longitudinal a linha da costa e, erosão a sotamar da mesma.

Décadas de		Erosão praial
80 e 90	Todas as intervenções somadas...	Freqüentes registros de erosão de praia, principalmente por ocasião de passagem de frentes frias, com alcance nas ondas no trecho a sotamar do segundo espigão (Figura 2.1) e registros de areias jogadas

sobre o calçadão, como resultado, muito provavelmente, da adaptação topográfica da praia em função da concentração de energia de ondas em alguns trechos e diminuição dos sedimentos disponíveis para transporte longitudinal e transversal a linha da praia.

FONTE: ALBINO et al, 2000.

3. EMBASAMENTO TEÓRICO

3.1 Processos Costeiros

3.1.1 Ondas e Correntes

Segundo Bird (1996), ondas são ondulações em uma superfície de água produzida por ação de vento. O fluxo turbulento do vento que passa na superfície da água produz tensão e variações de pressão, iniciando-se as ondas que crescem como o resultado de um contraste de pressão ao longo de sua estrutura dados os declives. Ondas consistem em movimentos orbitais de água que diminui rapidamente para baixo da superfície, até que o movimento seja desprezível onde a profundidade de água (d) se iguala a metade do comprimento de onda (λ).

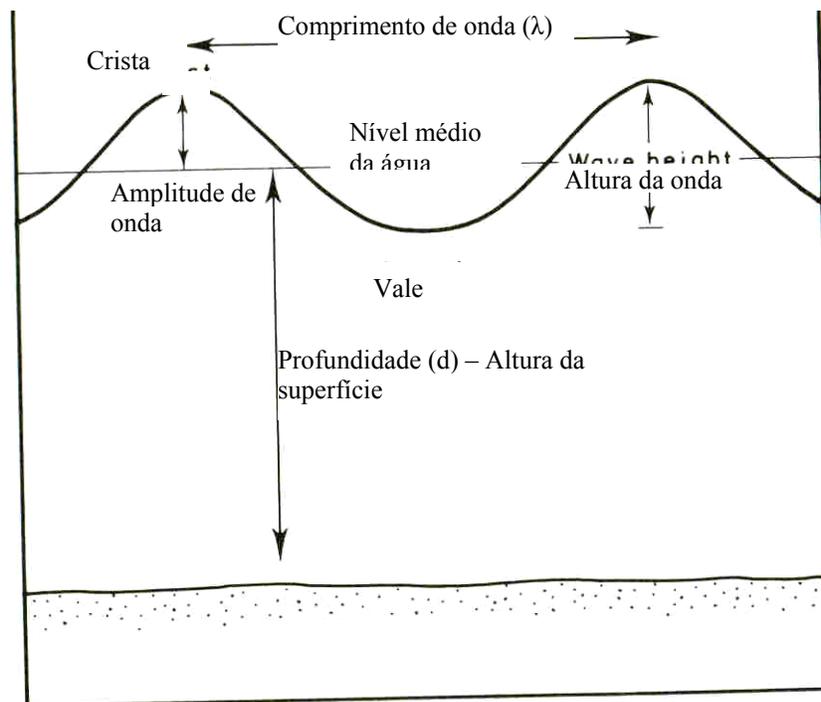


Figura 3.1 - Parâmetros da onda.

Fonte: Carter, 1988 (modificado).

Os parâmetros de onda mais conhecidos são altura (H), que é a diferença entre a crista (crest) e a depressão (trough), pelo comprimento (L), que é a distância entre

duas cristas (figura 3.1). O período de onda (T) é o tempo em que a crista ou outra parte qualquer da onda leva para se repetir ao passar por um ponto fixo na trajetória da onda. A esbeltez (steepnes) e a relação entre altura e comprimento (H/L) podem expressar a forma da onda. A velocidade de propagação, celeridade (C), é dada em função da relação L/T. Estas são as chamadas ondas gravitacionais, e os parâmetros aqui citados se modificam assim que a onda começa a sentir o fundo.

Ao se aproximar de águas rasas as ondas sofrem alterações em sua altura (H), comprimento (L) e na velocidade (C), de acordo com a profundidade da lâmina da água (h). O momento em que ela passa a sentir o fundo é quando a profundidade (h) é igual ou menor do que a metade do comprimento da onda (L) (KOMAR, 1976).

Ao se aproximar da costa, a onda tem sua geometria afetada em função da diminuição da profundidade, tornando-se mais curta (L diminui), e a esbeltez aumenta até a arrebentação da onda (Figura 3.2), o que ocorre quando a onda atinge a relação H/h aproximadamente igual a 0,75 a 1,2; isto é, quando a profundidade da água for mais ou menos igual a altura da onda (MUEHE, 1993).

Segundo Albino (1995), com a arrebentação da onda é produzida energia capaz de colocar os sedimentos em suspensão para mobilização, o que influencia diretamente na dinâmica praial. Tal energia praial é dada pela equação empírica de Komar (1976):

$$E = 1/8 \delta g H_b^2 \quad \text{onde: } \delta = \text{densidade da água (1.020);}$$

$$g = \text{aceleração da gravidade (9,81m/s}^2\text{);}$$

$$H_b = \text{altura da onda na arrebentação.}$$

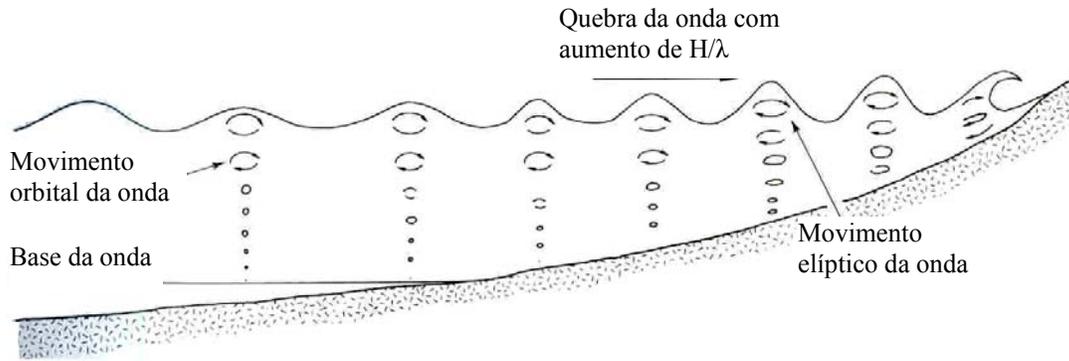


Figura 3.2 - Aumento da assimetria e esbelteza da onda ao se aproximar da linha de costa.

Fonte: Carter, 1988 (modificado).

As ondas incidentes podem ser refletidas de escarpas, praias, baixios submarinos, bancos de areia, molhe, quebra-mar, ect. As ondas refletidas podem ser do mesmo tamanho das ondas incidentes, e se a onda se propagar exatamente na direção oposta daquela refletida, ela pode empilhar. Em bacias fechadas as ondas represadas são conhecidas como "seiches".

As ondas refletidas também podem se espalhar, por exemplo, quando o período da onda incidente é distribuído em componentes de alta-freqüência que radiam energia (CARTER, 1988).

Segundo Carter (1988), os tipos de ondas de arrebentação indicam o modo de dispersão de energia da onda. Nas ondas deslizantes a turbulência começa na crista e envolve gradualmente a frente da onda. A onda deslizante (spilling breaker) é um fenômeno de superfície que se segue por distâncias de até vários comprimentos de onda (GALVIN, 1969 apud CARTER 1988), de forma que a pequena pressão dissipativa concentrada alcança o fundo. Por outro lado, nas ondas mergulhantes (plunging breaker) o processo é mais violento, ocorrendo dentro de uma distância de só 2 ou 3 alturas de onda, de forma que a energia de dissipação está concentrada em uma zona estreita (Figura 3.3). Segundo Komar (1976), as ondas frontais se elevam como se fossem mergulhar, entretanto a base da onda atinge a face da praia tão rapidamente a crista se desmorona e

desaparece. As ondas frontais ocorrem em praias de alto-gradiente com ondas de baixa declividade.

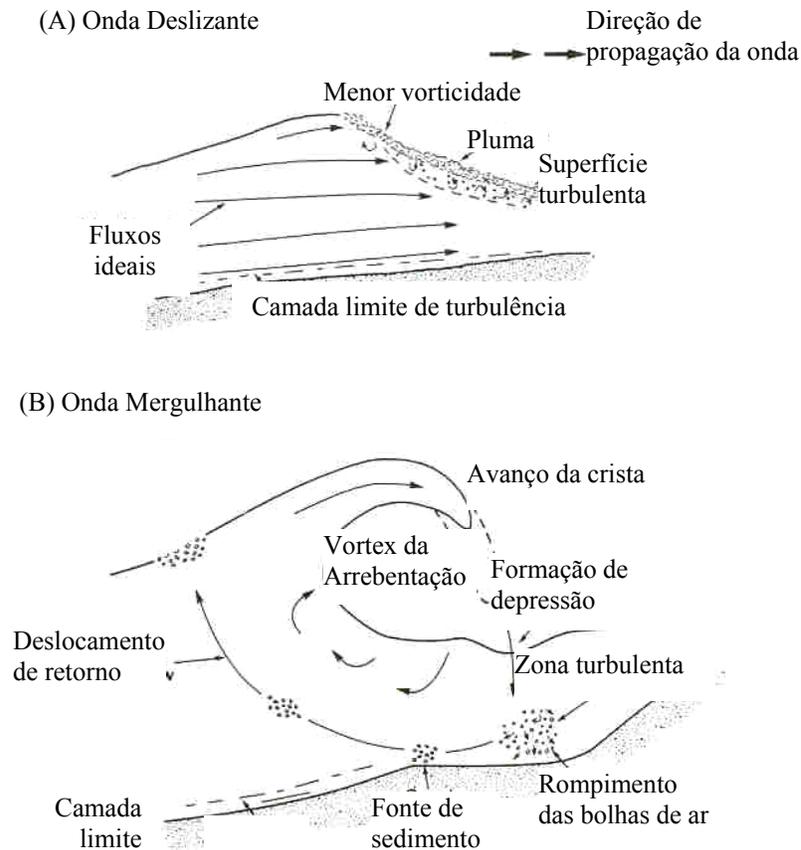


Figura 3.3 - Comparação da geração de vortex e penetração da coluna da água pelas ondas de arrebentação deslizante (A) e mergulhante (B)

Fonte: Carter, 1988 (modificado).

Outro processo de dissipação de ondas em águas intermediárias e rasas é o fenômeno de refração. Segundo Albino (1995), tal fenômeno consiste no processo pelo qual as cristas das ondas mudam de direção até tornarem-se paralelas à batimetria do fundo (PETHICK, 1986). O trem de ondas segue em direção a linha de costa com ângulo oblíquo em relação a esta linha de costa e o contorno do fundo, quando ainda não afetada pelo fundo. Quando então começa a ser modificada pelo fundo, a velocidade da onda será maior na parte mais distante da costa e menor na parte mais próxima da costa. Com isso a crista tende a curvar-

se cada vez mais tanto quanto ela distar da costa, devido a maior velocidade, até que as cristas das ondas tornem-se paralelas à linha de costa (Figura 3.4). Dentro da Baía do Espírito Santo a chegada das ondas NE na costa é influenciada pelo efeito da dissipação e refração.

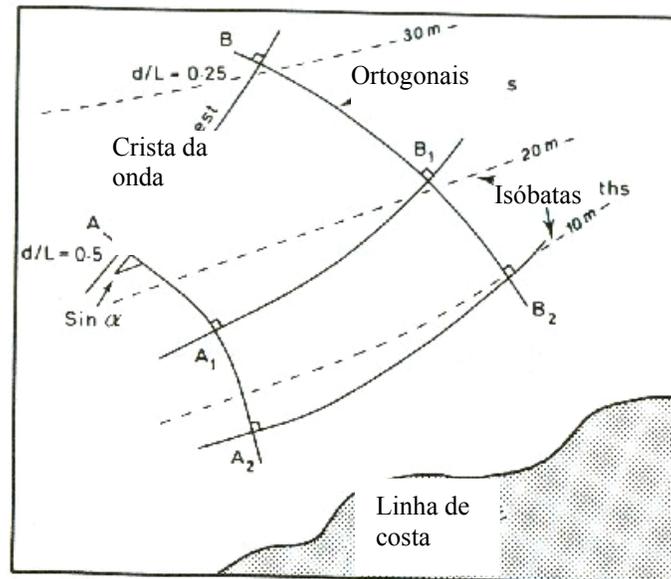


Figura 3.4 - Refração de ondas em águas rasas.

Fonte: Carter, 1988 (modificado).

As ondas são também submetidas a difração que é o fenômeno que consiste na transmissão lateral de energia de uma onda ao longo de sua crista. Ele manifesta-se quando há propagação de ondas em um setor restrito, ou quando um trem de ondas é interceptado por obstáculos, como ilhas (Figura 3.5) e espigões (SUGUIO, 1992). Esse fenômeno está relacionado com a formação de uma área de sombreamento na porção posterior ao obstáculo o qual a onda incide como ocorre na Ilha do Socó a aproximadamente 230m da costa de Camburi.

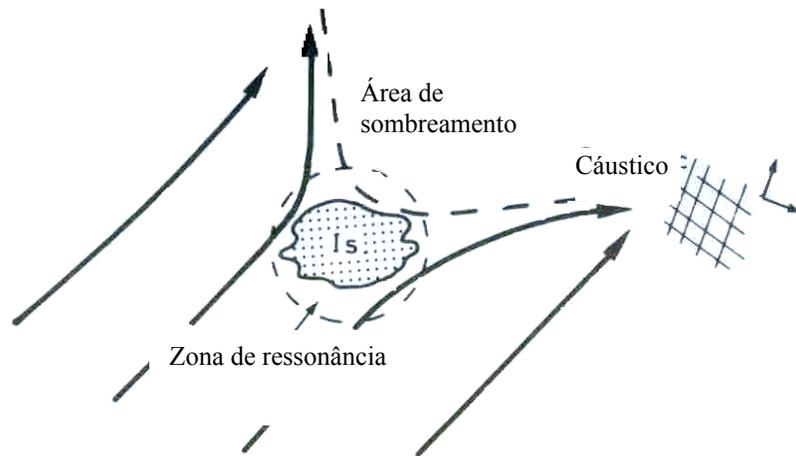


Figura 3.5 - Efeito de difração em ilha.

Fonte: Carter, 1988 (modificado).

Albino (1993) realizou um estudo sobre a formação de um tómbolo na área compreendida entre o Arquipélago de Santana (Macaé – RJ) e a praia, tendo como resultado que a formação de tal tómbolo se deve a difração sofrida pelas ondas ao redor do referido arquipélago, sendo este processo responsável pela alteração das linhas do fundo (Figura 3.6). Concluiu-se de tal estudo que a presença de uma feição como o tómbolo submarino é de reconhecimento da influência nos processos litorâneos, sendo de certa maneira, imprescindível o mapeamento batimétrico da plataforma continental interna, com presença de afloramentos, para a compreensão da dinâmica praial.

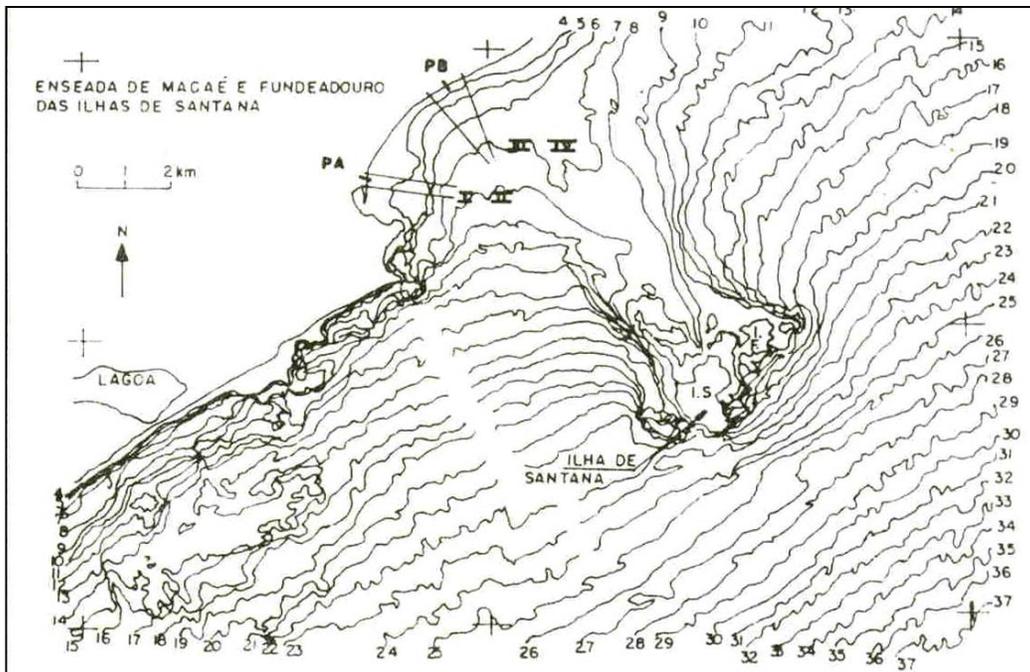


Figura 3.6 - Mapa batimétrico da plataforma continental interna de Macaé mostrando o desenvolvimento do tómbolo submarino por sombreamento e dissipação das ondas

Fonte: Albino, 1993.

Segundo Carter (1993) a mais comum corrente longitudinal é direcionada por ondas oblíquas. Elas se movem ao longo da direção de aproximação das ondas como uma oscilação, corrente de turbulência entre a zona de arrebatção e a costa.

O modelo de velocidade normal na superfície da costa é em forma de parábolas com a ocorrência de velocidades máximas na zona intermediária de surf nas praias planas. Basco (1983, apud CARTER, 1988) relata velocidade de correntes que ultrapassam 2m/s, mas a média registrada é entre 0,3 e 0,6m/s. Tal corrente longitudinal é responsável pelo deslocamento de sedimentos ao longo da costa para regiões adjacentes.

Segundo Muehe (1993), a altura das ondas na arrebatção varia por inúmeros efeitos como convergência e divergência de ortogonais, variações batimétricas e ondulações das edge waves (ondas de borda, paralelas ao longo da costa formada pela energia aprisionada na costa as quais são responsáveis pela maioria

das topografias rítmicas). Com isso o escoamento se faz nos pontos em que as ondas são mais baixas, levando ao desenvolvimento de uma série de células de circulação (rip-currents cell), cada uma caracterizada por uma corrente longitudinal (longshore current), fluindo paralela a praia, e uma corrente de retorno (rip current) (Figura 3.7), espraiando-se em forma de leque. Tais correntes colocam os sedimentos finos em suspensão e são responsáveis pelo transporte dos mesmos para fora da zona de maior dinâmica da praia.

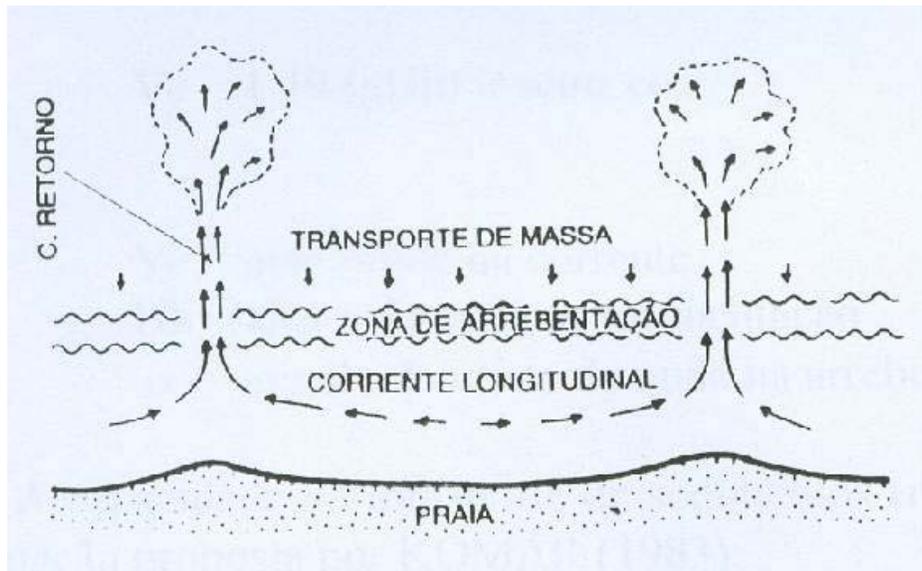


Figura 3.7 - Corrente longitudinal e corrente de retorno

Fonte: Muehe, 1993

Segundo Bird (1996) correntes oceânicas são movimentos suaves de água com respeito a padrões de vento prevalecentes, e variações de densidade nos oceanos que resultam de diferenças na salinidade e temperatura da água.

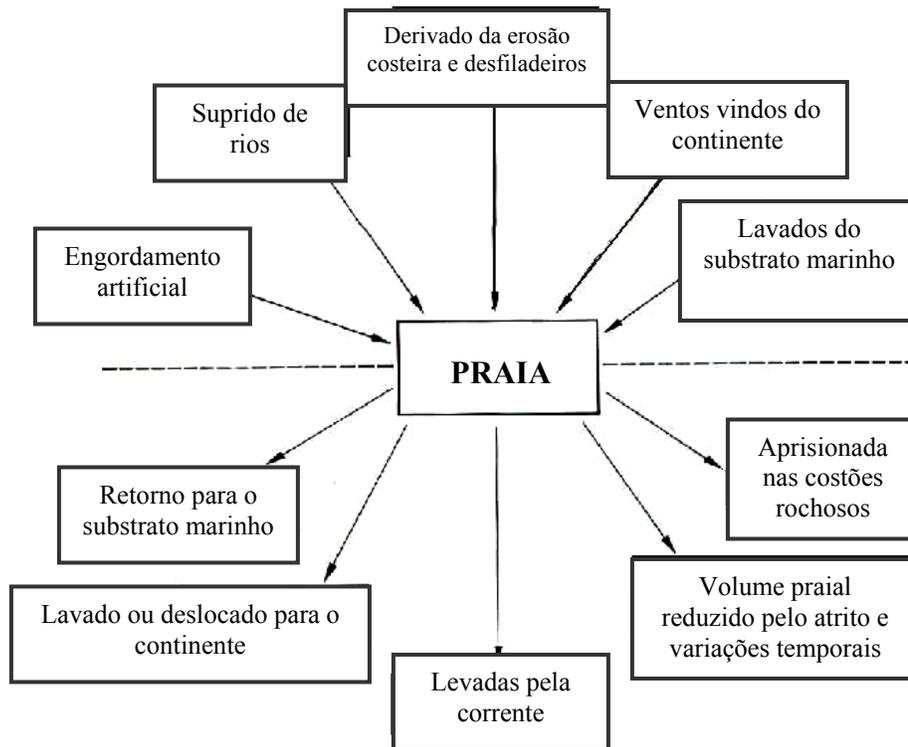
As correntes podem mover areia fina a média (diâmetros de grão entre 0,1 e 0,5mm) quando a velocidade excede aproximadamente 15cm/s, mas são exigidas correntes mais fortes para mover material mais grosso. Correntes geradas por ventos e marés podem ser fortes o bastante para mover areia ou até mesmo pedregulho no chão do mar, contribuindo ainda para o acúmulo de sedimento de praia, abastecendo a praia, ou levando isto para longe da praia, mas estes efeitos

são normalmente subordinados aos movimentos de sedimento de praia para dentro e fora e ao longo da costa por ação de onda.

3.1.2 Sedimentos praias

As praias receberam seus sedimentos de várias fontes (Figura 3.8). Algumas foram supridas com areia e pedregulho lavados costa a fora através de rios. Outros consistem em material derivado da erosão de falésias nas proximidades e provenientes da própria praia, lavada ao longo do fundo marinho por ondas e correntes, ou distribuídos por ventos que sopram do continente. Em recentes décadas muitas praias foram aumentadas dada a chegada de sedimento como o resultado de atividades humanas, como agricultura e mineração na costa e continente. Algumas praias foram nutridas artificialmente ou foram cheias, especialmente em estâncias balneárias. Enquanto muitas praias ainda estão recebendo sedimento de uma ou mais destas fontes, alguns se tornaram relíquicos, e consistem em depósitos acumulados no passado, mas pararam de receber sedimento (BIRD, 1996).

Suprimento de sedimento para a praia



Perda de sedimento da praia

Figura 3.8 - Ganhos e perdas de sedimento da praia

Fonte: Bird, 1996 (modificado).

O suprimento fluvial de praias se dá depois do sedimento ter sido lavado até a boca do rio. As areias e pedregulhos podem então se acumular na costa simetricamente a um crescente delta, ou serem distribuídos em qualquer direção por ondas e correntes para formar praias que possam estar a quilômetros de distância ao longo da costa (BIRD, 1996).

A nomenclatura usada para classificar partículas de sedimento de acordo com o diâmetro dos grãos está resumida na tabela 3.1, com as divisões que estão baseadas em múltiplos de dois. As distribuições em diâmetros de grãos geralmente achados dentro de uma areia de praia são determinadas peneirando, enquanto os diâmetros de seixo e partículas grandes são individualmente medidos

com um calibrador ou semelhante procedimento (BLATT, MIDDLETON, e MURRAY, 1972 apud KOMAR, 1998).

TABELA 3.1
CLASSIFICAÇÃO DE WENTWORTH (1922) DE TAMANHO DE GRÃOS DE
SEDIMENTO PELOS SEUS RESPECTIVOS DIÂMETROS.

<i>Classificação</i>	<i>Diâmetros</i>	
	<i>Milímetros</i>	<i>(ϕ) Unidade*</i>
Pedregulho	>256	> -8
Pedras	64 a 256	-6 a -8
Seixos	4 a 64	-2 a -6
Grânulo	2 a 4	-1 a -2
Areia muito grossa	1 a 2	0 a -1
Areia grossa	0,5 a 1	1 a 0
Areia média	0,25 a 0,5	2 a 1
Areia fina	0,125 a 0,25	3 a 2
Areia muito fina	0,0625 a 0,125	4 a 3
Silte	0,0039 a 0,0626	8 a 4

FONTE: Komar, 1998 (modificado).

* A escala de phi é relacionada ao diâmetro D em milímetros por $D = 1/2\phi$.

Praias que recebem mais sedimento do que perdem das várias fontes listadas sofrem construção, de forma a aumentar topograficamente e transversalmente sendo que a maré baixa e alta avança em direção ao mar, e a costa prograda. A erosão de praia acontece onde as perdas de sedimento excedem os ganhos. É agora necessário considerar os processos que resultam na evolução e dinâmica de praias (BIRD, 1996).

Muitas praias ocupam compartimentos distintos, saltados por recifes rochosos ou promontórios protuberantes, particularmente àqueles que acabam nas águas profundas (DAVISIES, 1974, apud BIRD, 1996). Pode haver diferenças notáveis na natureza de praias em baías adjacentes, como na costa íngreme do sudoeste da Inglaterra onde o tamanho de grão ou composição mineral de praias varia de uma angra para outra, pelos compartimentos de praia que estão separados através de promontórios rochosos.

Dentro de cada compartimento a ação da onda pode mover o material de praia confinado na costa para lá e para cá, tais alterações de acúmulo ao longo da costa de um lado depois do outro, muda o perfil transversal por alterações de sedimento em direção à costa e movimentos em direção ao mar.

Se os volumes de sedimento ganhos e perdidos em cada setor dentro de um compartimento praias num dado período particular são calculados, podemos expressar as variações em termos de um pacote praias para aquele compartimento (Tabela 3.2). Também podem ser estabelecidos pacotes praias para um litoral que inclui mais de um compartimento de praia, ou para qualquer outro compartimento definido, como uma margem d'água de estância balneário (BIRD, 1996).

TABELA 3.2
O PACOTE LITORÂNEO DE SEDIMENTO.

<i>Ganho</i>	<i>Perda</i>	<i>Balanço</i>
Transporte longitudinal para dentro da célula	Transporte longitudinal para fora da célula	Construção ou erosão praias
Transporte de rios	Transporte eólico para fora da praia	
Erosão das falésias marinhas	Deposição em canyons submarinos	
Transporte para costa (<i>onshore</i>)	Solução e abrasão	

Deposição biogênica Mineração

Deposição hídrica

Transporte eólico para a
praia

Engordamento praial

FONTE: Komar, 1998 (modificado).

Com a construção e erosão das praias, o declive da face em um dado ponto de referência mudará consideravelmente, aparentemente com respeito ao fator de H/L das ondas. Uma praia em erosão aplainará e uma praia em crescimento se tornará íngreme (BASCUM, 1951).

O declive da face de praia é então relacionada ao diâmetro médio da areia e energia de onda que alcança aquele ponto. A quantidade de energia está ligada as condições de refração, por conseguinte, praias que são protegidas são mais íngremes para um mesmo tamanho de grãos de sedimento que praias expostas.

A distribuição de areia por tamanho ao longo de um perfil é previsível com precisão razoável se o diâmetro médio de areia no ponto de referência for conhecido. Os grãos maiores são achados nos pontos de maior turbulência, e diminuem com o decréscimo da turbulência. Assim é possível modificar uma praia, de acordo com a granulometria empregada (BASCUM, 1951).

A seleção de sedimentos ao longo do perfil praial varia transversalmente em tamanho o que levou a vários estudos a respeito. O diâmetro do sedimento reflete a topografia de fundo e a intensidade local da turbulência e da energia de dissipação das ondas (KOMAR, 1998).

A corrente de retorno também influencia no transporte transversal por meio do retorno da água que estava na zona de espraiamento, por meio da ação de ondas, trazendo consigo sedimentos por meio das correntes de retorno. Tais correntes de retorno chegam a atravessar a zona de arrebentação com velocidades de até 8

km/h antes da dispersão no oceano, abrindo canais através da antepraia superior ocasionando plumas de sedimentos que se depositam na região de dispersão, podendo chegar a plataforma continental interna (BIRD, 1996).

Algumas praias mostram uma variação na concentração de sedimentos finos para sedimentos grossos em uma ou outra direção ao longo da costa. A composição de tamanho de grão do material praias pode variar lateralmente, particularmente nos arredores de costões rochosos em erosão, onde a proporção de material grosso localmente derivado pode ser alta, e perto a desembocaduras de rios, onde é provável que uma proporção maior de sedimento fluvial grosso esteja presente. A classificação lateral através do tamanho de sedimento foi observada em muitas praias.

Uma das explicações para que haja esta classificação lateral de tamanho de sedimentos nas praias é a seleção longitudinal do material de praia pela quebra de ondas e correntes próximas a costa, assim uma praia que inicialmente tinha partículas de vários tamanhos apresenta uma seleção de tamanhos de sedimento na trajetória da corrente longitudinal, onde os grãos mais finos foram movidos por serem mobilizados mais facilmente através de ondas e transportados através de correntes associadas (BIRD, 1996).

Segundo Komar (1977), o aumento do tamanho dos grãos de sedimento está relacionado à maior velocidade da corrente, que possibilita o transporte pelo fundo. A medida que a velocidade diminui, o transporte vai sendo realizado principalmente por suspensão, com sedimentos de menor granulometria, explicando a diminuição do diâmetro sedimentar no sentido do transporte de pela corrente longitudinal.

Experimentos de McCave (1978) mostraram que o tamanho das partículas do sedimento varia ao longo da corrente longitudinal, aumentando o diâmetro dos grãos no sentido da corrente, o que ocorre devido à contínua perda de sedimentos finos, que ficam retidos na praia pelo processo de espraçamento.

3.1.3 Dinâmica praial

Segundo Muehe (1993), o perfil transversal de uma praia vai depender do ganho ou perda de areia, de acordo com a energia das ondas, ou seja, de acordo com as alternâncias entre tempo bom (engordamento = ganho de sedimento) e tempestade (erosão = perda de sedimento). Nas zonas em que o regime de ondas se diferencia significativamente entre verão e inverno, a praia desenvolve perfis sazonais típicos de acumulação (perfil de verão) e erosão (perfil de inverno). Com isso, atingindo a praia um equilíbrio às diferentes condições oceanográficas, ela desempenhará um essencial papel de proteção da costa contra a erosão marinha.

O ciclo de armazenagem e retirada de sedimentos na praia foi caracterizado por Sonu e Van Beek (1971), que definiram uma seqüência típica das configurações dos perfis praias, onde a concavidade convexa da praia está ligada a um perfil mais construtivo e a concavidade côncava a um perfil mais erosivo (Figura 3.9).

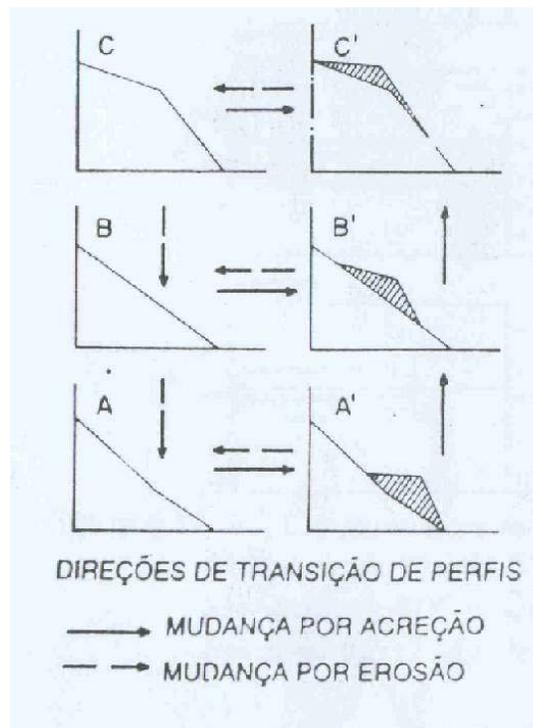


Figura 3.9 - Seqüência típica de configurações de um perfil de praia com detalhes da concavidade da praia em construção

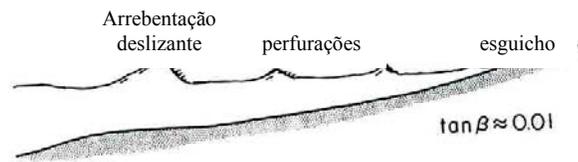
Fonte: Sonu & Van Beek, 1971.

Segundo Muehe (1993), foi desenvolvido um modelo de variabilidade espacial da zona de surfe pela “escola australiana de geomorfologia”, onde foram reconhecidos seis estados ou estágios morfológicos distintos, associados a diferentes regimes de ondas e marés, caracterizados por dois estados extremos, o dissipativo e reflexivo, e quatro estados intermediários (SHORT, 1979; Wright et al, 1979; Wright et al, 1982; Wright & SHORT, 1984; Wright et al, 1985).

Para o estado dissipativo (Figura 3.10 A), a zona de surfe é larga, apresenta baixo gradiente topográfico e elevado estoque de areia, e baixo gradiente de praia. É característico de locais sob condições de ondas altas e de elevada esbeltez (tempestade) ou na presença de areias de granulometria fina.

Já o estado refletivo (Figura 3.10 C), ao contrário, é caracterizado por elevados gradientes da praia e fundo marinho adjacente, o que elimina a zona de surfe quase que por completo. Possui a berma da praia elevada devido à velocidade de espraiamento da onda; e o estoque de areia na zona submarina é baixo.

A) Praia Dissipativa



B) Praia Intermediária



C) Praia Refletiva

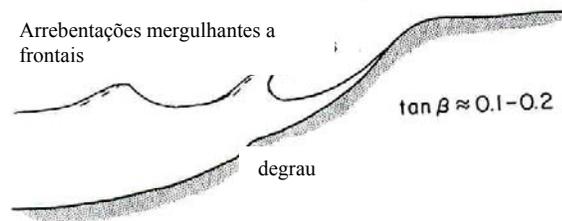


Figura 3.10 - Características morfológicas dos estados de praia (A) dissipativo; (B) intermediário; e (C) refletivo.

Fonte: Komar, 1998 (modificado).

Por fim, os estados intermediários se caracterizam por uma progressiva redução da largura da calha longitudinal (longshore trough), em decorrência da migração do banco submarino da zona de arrebentação em direção à praia (Figura 3.10 B), como resposta às variações nas características hidrodinâmicas.

3.2 Estruturas de engenharia

3.2.1 Estruturas sólidas (*hard structures*)

Segundo Keller (1992), estruturas de engenharia no ambiente costeiro são primariamente designadas a sofisticar a navegação ou retardar a erosão. Eles incluem espigões, quebra-mares, e molhes. Como eles tendem a interferir no

transporte litorâneo de sedimento ao longo da praia, todas estas estruturas causam freqüentemente indesejável erosão na vizinhança delas.

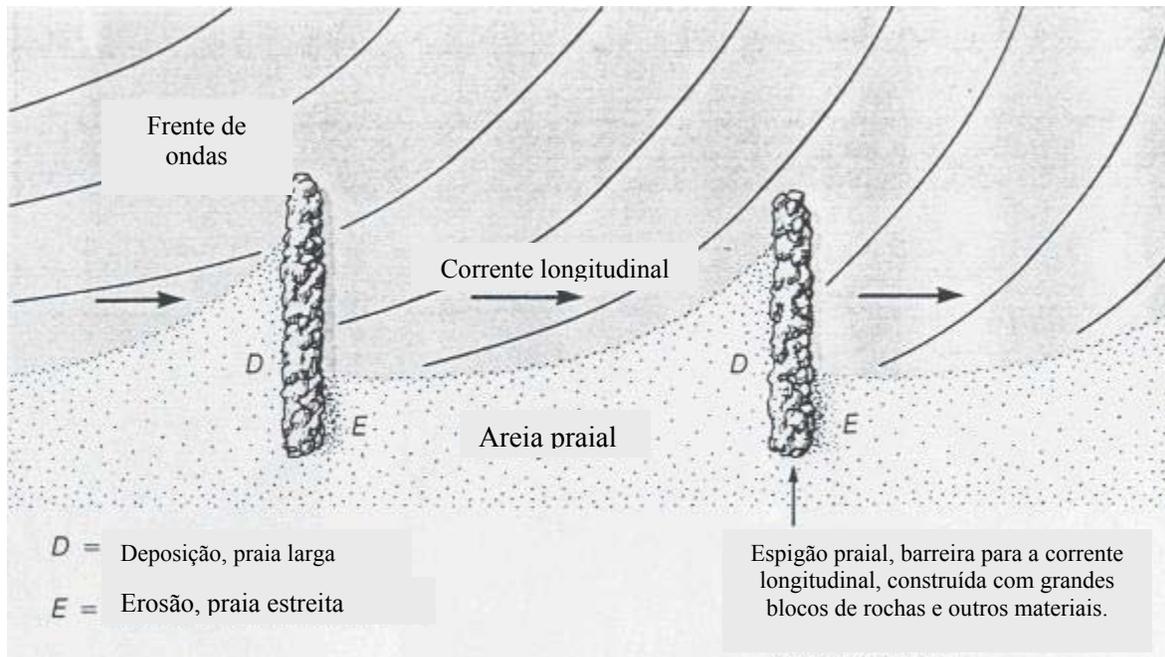


Figura 3.11 - Diagrama de dois espigões de praia. O sedimento depositado constrói uma praia larga na região adjacente ao espigão receptora da corrente longitudinal, e na região adjacente do espigão protegida da corrente há uma erosão.

Fonte: Keller, 1992 (modificado).

Espigões são estruturas colocadas perpendicularmente na costa. Eles são geralmente construídos em grupos chamados '*groin fields*' (Figura 3.11). A idéia básica é que cada espigão retenha uma porção de areia que se desloca por meio do sistema de transporte pelo litoral. Um pequeno acúmulo de areia irá levar ao desenvolvimento de uma praia irregular, porém larga, na região do espigão receptora da corrente (KELLER, 1992).

Quebra-mares são designados para interceptar ondas e promover uma área protegida (porto) para ancoradouros de barcos, e podem ser ligados ou não a praia (Figura 3.12, parte superior e meio).

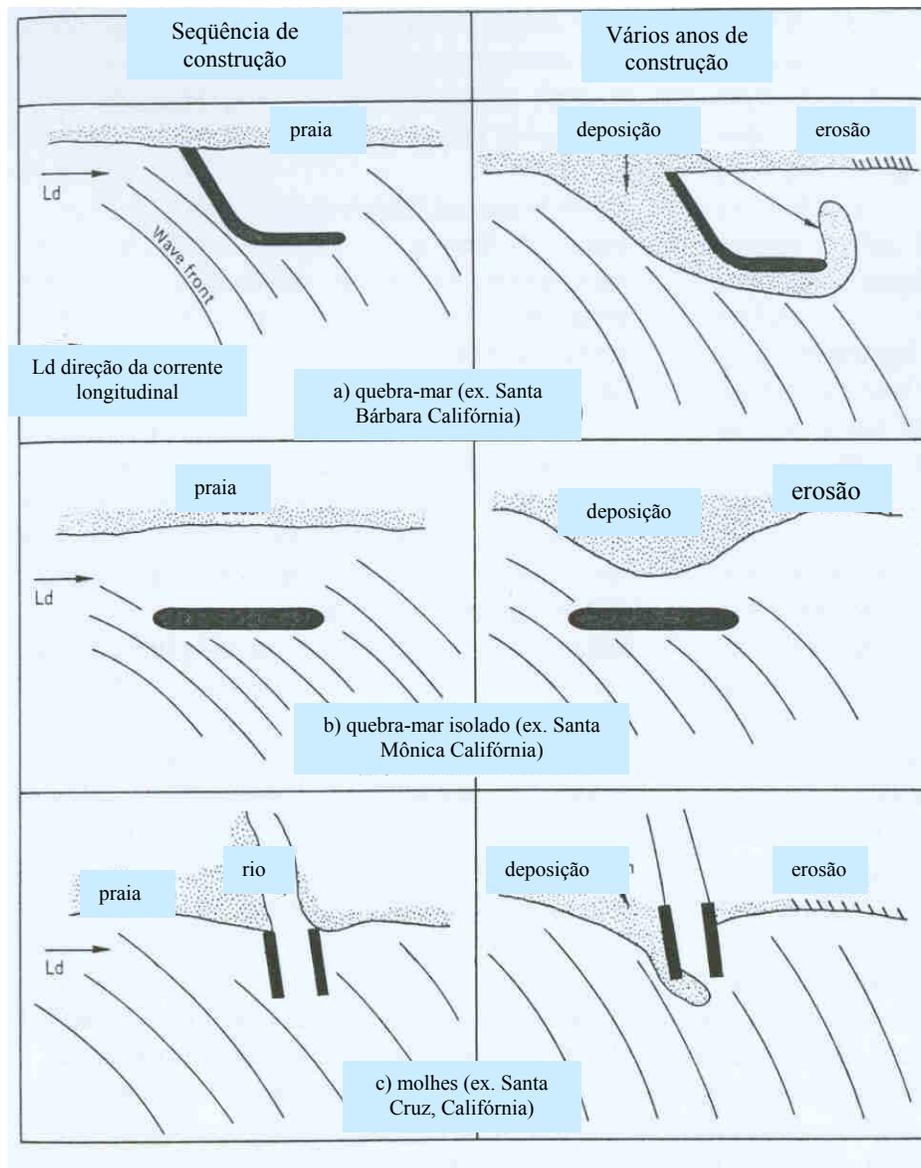


Figura 3.12 - Efeitos de quebra-mares (acima e meio) e molhe (abaixo).

Fonte: Keller, 1992 (modificado).

Em ambos os casos, eles bloqueiam o transporte natural de sedimentos pelo litoral da praia, por isso, muda a configuração local da costa com novas áreas de erosão e deposição (KELLER, 1992).

Os molhes são geralmente construídos em pares na desembocadura de rios e entrada de lagunas, estuários, ou baías (Figura 3.12, parte inferior). Eles são designados para estabilizar o canal, prevenindo ou minimizando deposição de sedimento no canal, e geralmente o protege de grandes ondas (KELLER, 1992).

3.2.2 Outras formas de contenção (*soft structures*)

Há também técnicas de estabilização estrutural sem que seja necessária a utilização de material rochoso ou estrutura de concreto, estas incluem o “engordamento de praia” (*beach nourishment*), “terraplanagem de praia” (*beach bulldozing*), criação de duna, restauração, e modelagem de forma. O termo modelagem praial poderia ser usado para descrever quaisquer destas atividades nas quais são freqüentemente usadas simultaneamente entre si para combater a erosão litoral. Tais métodos mais naturais para contenção da erosão costeira, principalmente engordamento e raspagem, já tiveram sua preferência nos Estados Unidos à utilização de métodos de obras de engenharia.

Terraplanagem de praia é o processo de redistribuir areia da praia mecanicamente da zona litorânea para a praia superior para aumentar o tamanho da duna primária ou prover uma fonte de sedimento para praias que não têm nenhuma duna existente. Normalmente é levada areia da zona entre marés e empurrada praia acima para proteger as estruturas ao longo da praia; nenhum sedimento novo é somado ao sistema (WELLS e MCNINCH, 1991).

A engorda pode ser também uma alternativa para estruturas de engenharia. Em sua mais pura forma, a engorda envolve a colocação artificial de areia em praias com a expectativa da formação de um pacote de sedimento extra. O procedimento possui distintas vantagens como uma estética preferencial em relação a várias estruturas de engenharia e promove uma praia para recreação bem como alguma proteção à erosão da linha de costa, (KELLER, 1992).

O engordamento de praia (*beach nourishment*) consiste então, em promover a construção de alguma região praial, como berma, duna, berma submarino, estabilização de dunas (com cercamento de sedimento), preencher áreas erodidas por obras de engenharia (como espigões, Figura 3.13) (GRAVENS et al 2001); com sedimento não proveniente da própria praia, geralmente dragado da região submarina da plataforma continental adjacente.

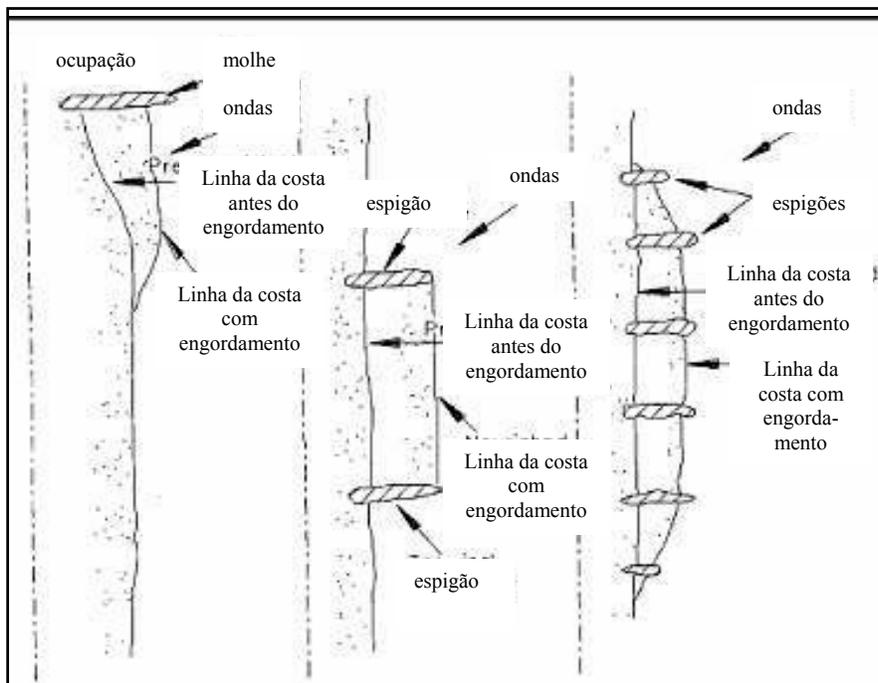


Figura 3.13 - Exemplos de engordamento de praia.

Fonte: Greene, 1992 (modificado).

Algumas das vantagens associadas ao engordamento de praia incluem: 1) uma praia recreativa mais larga; 2) proteção para estruturas da linha de costa; 3) possível uso benéfico do material dragado das fontes próximas; e 4) a habilidade para trocar a outros métodos de administração de praia no futuro (já que o desenvolvimento do litoral não impede isto) (NRC, 1995 apud GREENE, 1992). O engordamento de praia pode proteger também plantas ameaçadas na área de duna, e restabelecer hábitat para tartarugas marinhas, aves marinhas, e outros organismos de passagem ou de vida permanente na praia (LeBUFF e HAVERFIELD, 1990; MELVIN et al., 1991; SPADONE, 1991; apud GREENE, 1992).

Segundo Browder & Dean (2000) o engordamento de praia é atualmente a alternativa preferida para a estabilização da linha de costa em áreas que sofrem um déficit de areia devido tanto a causas naturais quanto a causas antrópicas. Os projetos de monitoramento de engorda de praia em todos os tipos de ambiente provê incontáveis dados de informações para uma futura predição da praia engordada. Ao fim de oito anos de dados de monitoramento obtidos de 1989 –

1991 do projeto de engorda da Praia de Perdido Key, Califórnia, obtiveram-se detalhes sobre a performance de projeto de engorda adjacentes para entradas de maré. A comparação da performance do projeto de engorda com simples modelos analíticos incentivando resultados, valida o uso de métodos simples de predição como o desígnio de ferramentas primárias.

4. MATERIAS E MÉTODOS

4.1 Levantamento e tratamento de dados pretéritos

4.1.1 Fonte

Foram levantadas informações referentes à Praia de Camburi e suas intervenções nos últimos cinco anos.

Foram realizadas visitas a SEMMAM para consultas de relatórios técnicos. Para a observação da recuperação da praia pelas atividades de engorda (aterro) e dragagem a CEPEMAR Consultoria Ambiental realizou campanhas de “Monitoramento Batimétrico e Granulométrico das Áreas Dragadas” e “Monitoramento Topobatimétrico e Granulométrico das Áreas Aterradas” segundo as condicionantes solicitadas pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMMAM). Os trabalhos de campo foram realizados nos anos de 2000 e 2001.

4.1.2 Dados topográficos

Foram utilizados dados de levantamentos topográficos para os anos de 1998, 2000 e 2001 advindos de tabelas e perfis obtidos com os relatórios técnicos referentes ao trabalho da CEPEMAR (empresa de consultoria em meio ambiente). A CEPEMAR levantou, sazonalmente 20 perfis topográficos ao longo da Praia de Camburi compreendida entre o primeiro e o terceiro píer.

4.1.3 Dados granulométricos

Foram utilizados dados de análises granulométricos para os anos de 2000 e 2001 advindos de tabelas obtidos com os relatórios técnicos referentes ao trabalho da CEPEMAR (empresa de consultoria em meio ambiente). A CEPEMAR analisou sazonalmente amostras dos mesmos 20 perfis levantados citados no item anterior.

4.2 Levantamento do campo

4.2.1 Dia da amostragem e determinação das estações praias

Os dados referentes a 14 de agosto de 2003 para o levantamento topográfico foram medidos ao longo de 16 dos 20 perfis distribuídos ao longo da Praia de

Camburi, entre o primeiro e o terceiro píer (Figura 4.1), marcados previamente no calçadão pela CEPEMAR seguindo um rumo perpendicular (90°) ao calçadão da praia (Tabela 4.1), e para granulometria uma coleta da face praial referentes a cada um dos 16 perfis amostrados. Foi realizada uma prévia visita ao local de estudo para o reconhecimento do campo. A determinação exata dos outros quatro pontos não foi possível por terem sido provavelmente removidos com as recentes modificações no calçadão da Praia de Camburi.

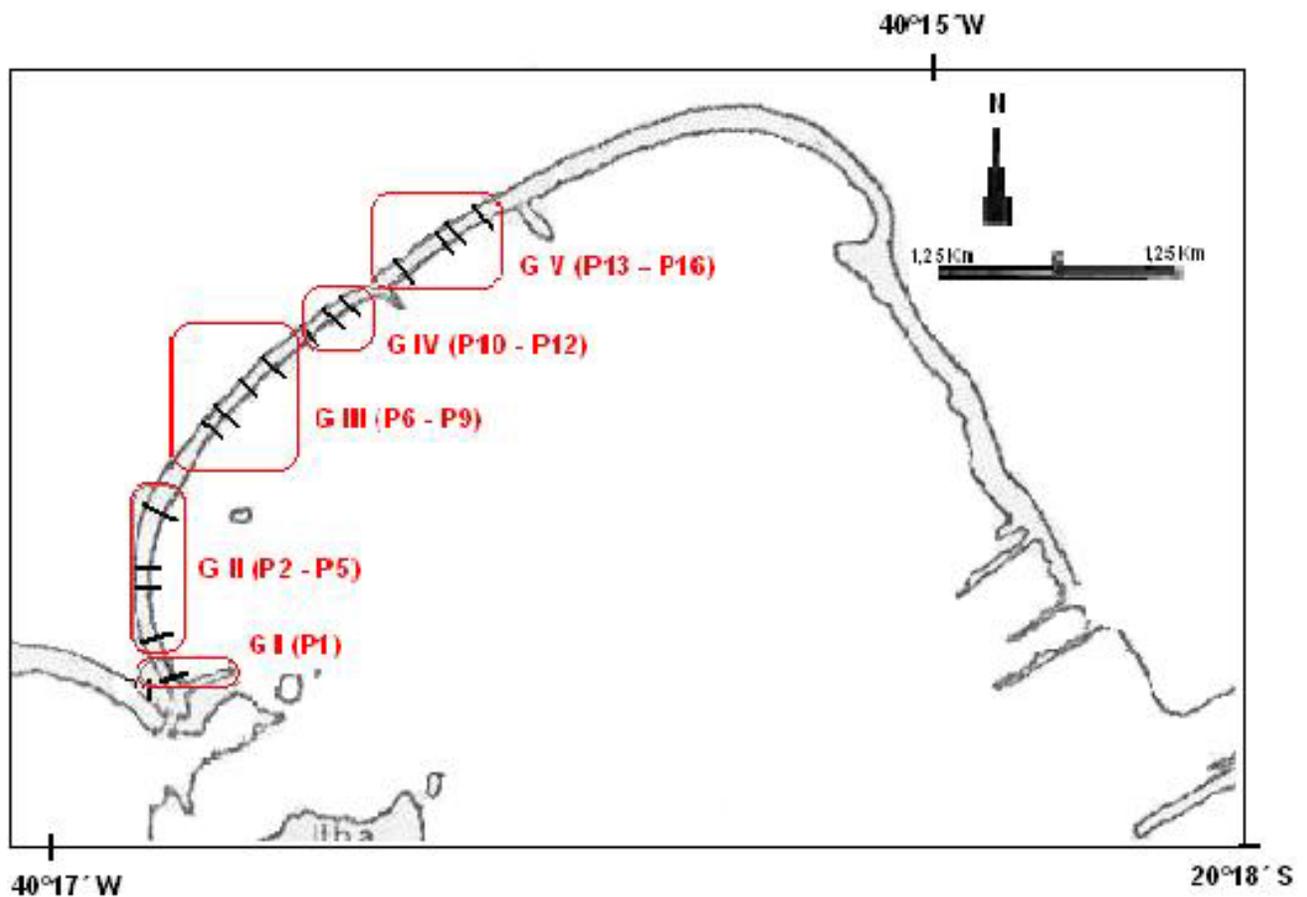


Figura 4.1 – Mapa indicando a localização das Estações praias (P1 - P16) e Grupos (G I - V) de Perfis discutidos e da Ilha do Socó.

FONTE: Albino e Oliveira, 2000 (modificado).

TABELA 4.1

LOCALIZAÇÃO DOS 16 PERFIS CORRESPONDENTES AO TRABALHO DESCRITO
NA METODOLOGIA.

Perfil /	Distância do Píer	Localização e referência	Coordenadas e rumo
	de Iemanjá (m)		
# 1		Pracinha de exercícios da areia	K: 0365344
100		Cerca de 100m após o Per de Iemanjá	M: 7755642
			82° NE
#2		Em frente ao edifício Orixá (à direita da	K: 0365265
300		Minuano)	M: 7755826
			98° SE
# 3		Em frente ao Bingo Camburi (antigo	K: 0365224
600		Superbowl)	M: 7756021
			106° SE
# 4		Cerca de 2m antes da faixa de pedestres	K: 0365205
700		Tratoria Toscana	M: 7756126
			105° SE
# 5		Cerca de 20m a direita do Hotel	K: 0365227
900		Hotel Alvetur	M: 7756416
			123° SE
# 6		Em frente ao edifício Tamoios	K: 0365399
1400		Depois do relógio 500 anos	M: 7756776
			147° SE
# 7		Cerca de 20m à esquerda do Aruan Fitness	K: 0365444
1500		Center do Hotel Aruan	M: 7756865
			135° SE
# 8		Em frente ao edifício Siena	K: 0365608
1700		Cerca de 50m antes dos edifícios da SENNA	M: 7757119
		(conjunto)	155° SE

# 9 1900	Edifício Praia Vermelha Quiosque Footvoley – n.16	K: 0365732 M: 7767273 150° SE
# 10 2100	Em frente ao quiosque do Jacaré n. 18	K: 0365878 M: 7757413 154° SE
# 11 2300	Em frente ao quiosque D´Graus	K: 0366025 M: 775748 156° SE
# 12 2400	Em frente a Adalberto Simão Nader	K: 0366105 M: 7757610 166° SE
# 13 2920	Quiosque Caravelas II	K: 0366514 M: 7757929 166° SE
# 14 3220	Entre o segundo e o terceiro poste após o quiosque 25 Antigo Quiosque N. 26	K: 0366679 M: 7758041 150° SE
# 15 3320	Logo após o segundo poste antes do Q. Lagoa Azul Antes do Quiosque Canoa Quebrada (antigo Q. Casa de Bamba)	K: 0366762 M: 7758096 163° SE
# 16 3520	Cerca de 50m antes do Pier III	K: 0367016 M: 7758258 165° SE

4.2.2 Levantamento topográfico

O levantamento topográfico foi realizado nos perfis por meio do nivelamento das balizas de Emery (1961) (com graduação de até 1,5m), começando da queda do calçadão indo, de acordo com rumo seguindo a orientação da bússola, até a linha de máximo recuo da onda. Para tal, as balizas foram colocadas, a partir do ponto inicial, uma pós a outra seguindo o rumo, sendo que a baliza migrada foi posta preferencialmente no ponto de maior declive ou saliência mais próximo da baliza anterior, sempre que possível respeitando uma distância máxima de 20m. As

variações de altura foram medidas na graduação das balizas por meio do alinhamento do topo da baliza migrada com a linha do horizonte (neste caso, declive, a leitura foi feita na baliza anterior), e alinhando-se a baliza anterior com a linha do horizonte (neste caso, aclive, a leitura foi feita na baliza migrada). Tal como a altura, as distâncias entre cada ponto escolhido para o posicionamento das balizas também foram registradas (Anexo 1), como supracitado, respeitando, sempre que possível, o limite de 20m.

4.2.3 Coleta e análise granulométrica

Foram feitas amostragens em todos os 16 perfis levantados topograficamente, na região referente a face praial, e análise granulométrica da face praial em 8 dos 16 perfis, selecionadas afim de que se abordasse a evolução granulométrica em pelo menos um dos perfis de cada grupo representado neste trabalho. Utilizando-se a mão em forma de concha e introduzindo-a no sedimento, fez-se a remoção das amostras, armazenando-as em sacolas plásticas previamente etiquetadas.

Antes de serem de fato analisadas, as amostras precisaram passar por uma prévia preparação (para retirada do sal, homogeneização e separação das quantias de interesse para as análises da amostra), que consistiu em: lavagem, secagem e pesagem.

Na lavagem o sedimento foi despejado em uma bacia na qual se encheu de água. Manualmente, misturou-se o sedimento a água afim de que o sal da amostra fosse dissolvido nesta água. Após agitação, esperou-se a decantação do sedimento, para então escoar a água e adicionar mais água doce a bacia. Tal procedimento foi repetido até que se pudesse supor “não ter” mais sal na amostra (uma das observações feitas que revelam a presença de sal na água é a formação de espuma na superfície). Após a retirada do sal, o sedimento foi transferido para um béquer com o auxílio de uma colher, do qual foi retirado o restante de água depois da decantação.

Na secagem o béquer contendo o sedimento foi então colocado em uma estufa e lá mantido a uma temperatura de aproximadamente 80°C durante o período de um dia para total secagem da amostra.

Na pesagem, ao ser retirado o béquer da estufa, passou-se o sedimento pelo quarteador, afim de que se homogeneizasse a amostra quanto a disposição do tamanho dos grãos, separando uma quantia de 50g da amostra para análise granulométrica. O peso da quantia foi verificado em uma balança digital utilizando-se uma precisão até duas casas decimais.

A análise granulométrica consiste na separação de uma dada amostra sedimentológica de acordo com o tamanho dos grãos, para obtenção, por interpretação dos resultados, de informações sobre o sedimento, bem como a hidrodinâmica de seu local de deposição. Tal separação granulométrica pode ser feita por um processo de peneiramento e via úmida / pipetagem, tendo sido utilizado somente o processo de peneiramento tendo em vista a insignificante representatividade de lama (silte/argila) na amostra.

Para o peneiramento, a quantia referente a granulometria, 50g, foi posta sobre as malhas de abertura maior que 2,00mm (4,00; 3,360 e 2,380mm), onde foi possível fazer um peneiramento manual devido à relativa baixa representatividade em grãos dessas frações de sedimento, com o fim de se ganhar tempo. Abaixo dessas malhas justapostas, foi colocado um fundo, para conter os sedimentos que passaram pela malha de 2,380mm. O material contido neste fundo foi passado, com o auxílio de um pincel pequeno, para a malha de abertura 2,000mm empilhada sobre malhas de diferentes aberturas (Tabela 3.1) e um fundo, justapostos. Foram colocados as malhas e o fundo em um rotor elétrico, onde o sedimento foi exposto a 15 minutos de vibração (sugerido por Folk, 1957). Passado este tempo o conjunto de 6 malhas (de abertura de 2,000mm até 0,350mm) juntamente com o fundo foram trocados, aonde o sedimento contido no fundo deste primeiro conjunto foi despejado sobre a primeira malha do segundo conjunto de 6 malhas (de abertura de 0,250mm até 0,062mm) mais o fundo, para

mais 15 minutos de peneiramento no rotor elétrico. A quantidade de sedimento retida em cada malha foi pesada e registrada em planilhas (Anexo 2).

Com o cálculo do percentual da quantia retida em cada phi referente aos 50g totais se construiu curvas percentual da amostra, pelos valores de phi correspondente, em uma ficha como indicado no Anexo 3. Foram tomados da curva os valores de phi para os percentuais de 5,16,25,50,75,84 e 95% (Anexo 3). Por meio desses valores de phi calculou-se (em phi) os valores de diâmetro médio por meio do programa computacional TextLP.dos/BASICA elaborado por Dieter Muehe.

Os parâmetros estatísticos obtidos consistem em diâmetro médio (M_z , em phi) que representa a média da distribuição (50%), o grau de seleção (δ , em phi) e a assimetria (S_{ki} , em phi).

4.3 - Superposição das informações

Com relação a linha de costa optou-se por adotar a linha da crista do berma como referência por não sofrer atuação da linha de espraiamento, o que é influenciado pelo nível da maré, o que faria necessário uma correção de nível da água por tábuas de maré.

Os dados pretéritos obtidos por tabelas e gráficos dos relatórios técnicos do CEPEMAR, referentes ao levantamento topográfico dos anos de 1998, 2000 e 2001 foram então agrupados em uma mesma planilha juntamente com os dados do presente estudo (2003), confeccionando-se assim gráficos dos perfis topográficos, pela utilização de programa computacional. O comportamento da linha da costa da Praia de Camburi foi alcançado então pela superposição das linhas gráficas da crista do berma nos 4 momentos distintos: perfil de 1998 (natural), 2000, 2001 e 2003.

Procedimento similar foi utilizado para a comparação das análise granulométricas das areias. A partir da distribuição granulométrica foi obtido o diâmetro médio (M_z)

e plotado, juntamente com os diâmetros médios das areias dos outros monitoramentos, ao longo da praia de Camburi.

A integração entre a distribuição morfológica e granulométrica ao longo da praia de Camburi permitiu conhecer a dinâmica dos diferentes trechos da praia e avaliar seu comportamento após o engordamento artificial.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Variação morfológica da praia ao longo dos 5 anos

5.1.1 Variação transversal

A representação dos 16 perfis levantados ao longo da praia de Camburi será apresentada por agrupamento de perfis com semelhanças entre si no comportamento de recuo, estabilidade e progradação, bem como a distância das cristas do berma em relação à calçada.

O Grupo I, representado pelo Perfil 1 (Figura 5.1), foi individualizado devido ao seu comportamento construtivo a estável após o engordamento artificial. Em 1998, este perfil apresentava-se erodido e recuado, com a crista do berma na faixa dos 50m da calçada. Após o engordamento, em 2000, a crista do berma estava no ponto correspondente a 90m da extensão do perfil, revelando uma progradação de aproximadamente 11% (10m do comprimento total). Em 2001 e 2003 observa-se a tendência estável do perfil, com a crista do berma na faixa dos 100m até 2003. Esta crista manteve basicamente a mesma altura ao longo desses anos. A variação de altura na distância de cerca de 20m da extensão do perfil deve-se a intervenção realizada para construção de uma “praça de exercícios” na praia.

O trecho compreendido pelo Perfil I – Grupo I encontra-se exposto à ação de trem de ondas vindas da direção E-SE e S-SE o que justifica seu recuo inicial antes do engordamento. Com a maior disponibilidade de sedimentos as ondas constroem o berma, que se mantém estável ao longo do tempo devido à fraca atuação do transporte da corrente longitudinal desenvolvida sob condições de NE e pela reflexão da onda devido à proximidade do Píer de Iemanjá, que inibe a retirada dos sedimentos.

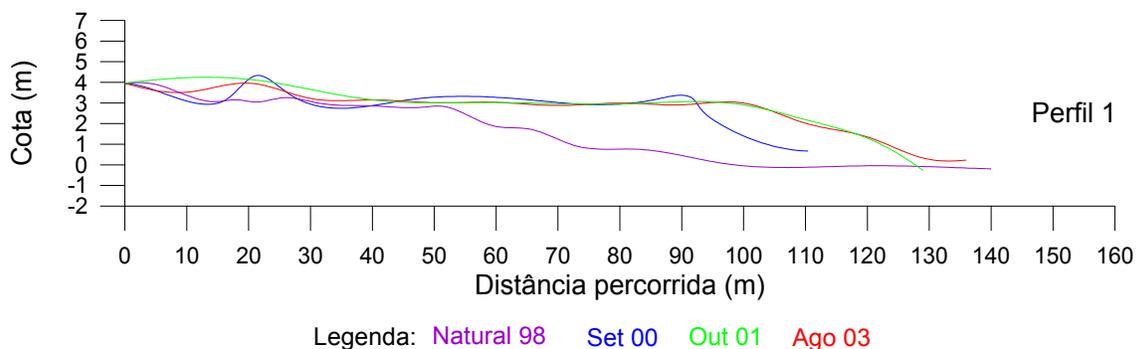


Figura 5.1 –Levantamento topográfico do Grupo I, Perfil 1.

O Grupo II, representado pelos Perfis 2 a 5 (Figura 5.2), foi individualizado pelos respectivos perfis apresentarem recuo gradativo pós engordamento, entre os anos de 2000 e 2003.

Em 1998 os Perfis 2,3 e 4 apresentavam cerca de 75m, e o Perfil 5, 95m de extensão total. Em 2003 os Perfis 2,3 e 4 apresentavam 85-95m e 110m para o Perfil 5. As distâncias das cristas do berma em 2000 para os Perfis 2,3 e 4 era de 40m, e 50m para o Perfil 5, sendo em 2003, 65-80m para os Perfis 2,3 e 4, e o Perfil 5 90m.

O recuo que o Grupo II foi submetido se deu devido à ação de ondas vindas das direções E-SE e S-SE. O Perfil 2 respondeu mais rápido ao processo erosivo por formar com as ondas ângulo de incidência mais próximo do perpendicular, do que os demais perfis do grupo. De 2000 para 2001 o Perfil 2 recuou cerca de 30m, 28% do seu comprimento total. O Perfil 5 mostrou-se mais extenso dada a ação de sombreamento pela Ilha de Socó que interfere na topografia e a retenção de sedimentos transportados longitudinalmente. O crescimento de cerca de 0,30m na crista do berma do Perfil 5, deve-se a maior entrada de ondas mais altas, que fazem com que os sedimentos sejam sobrepostos ao berma.

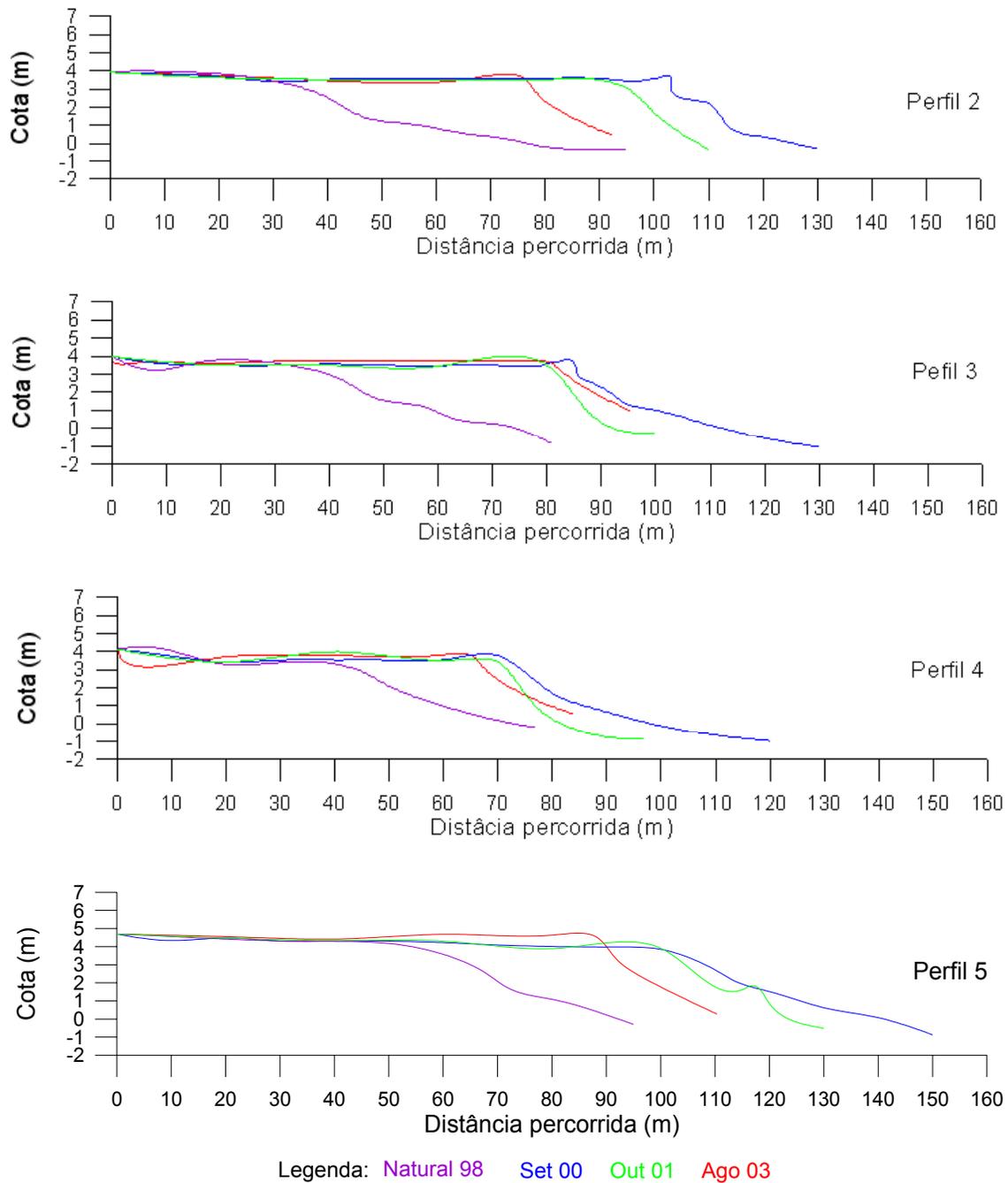
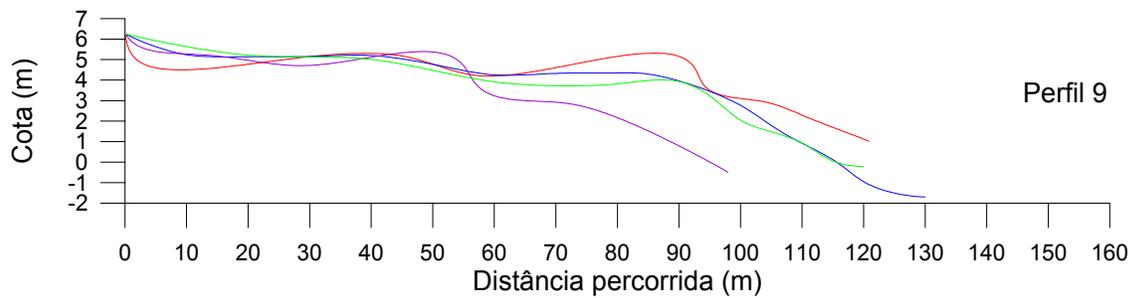
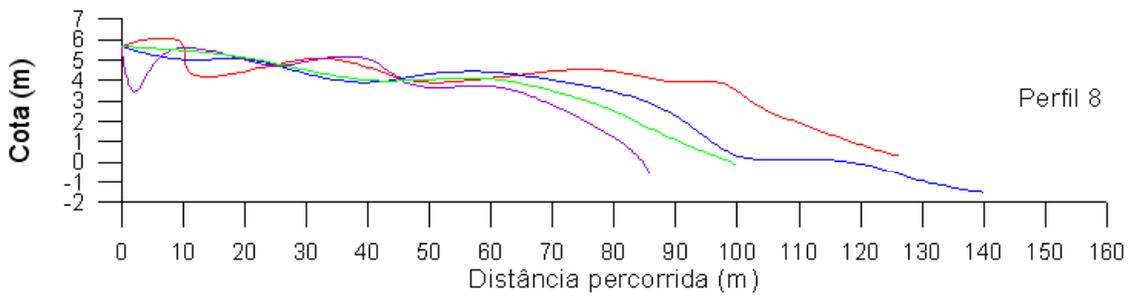
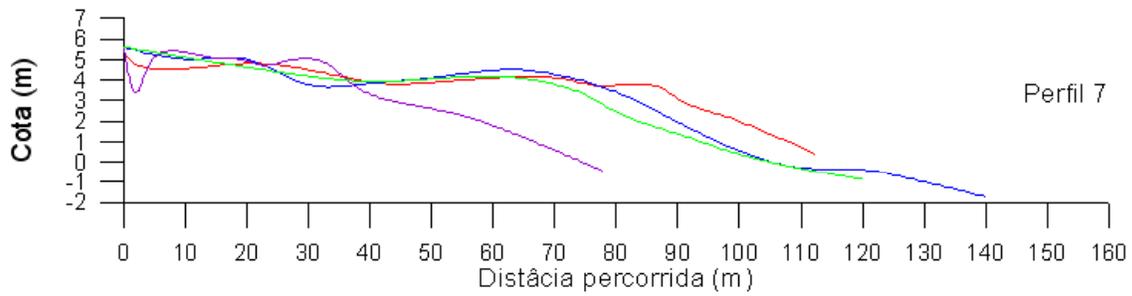
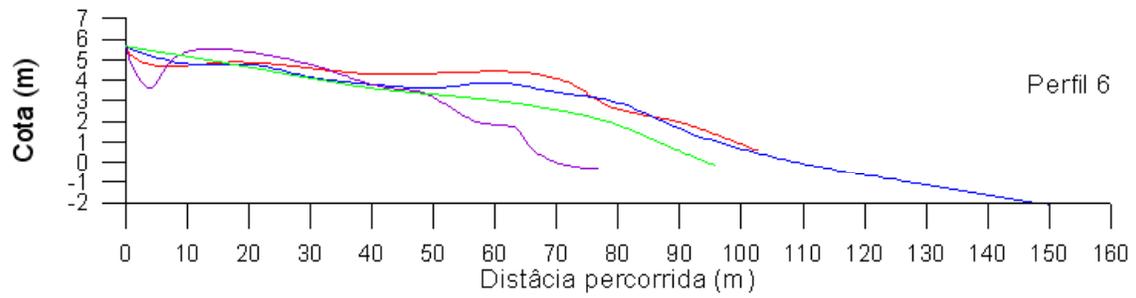


Figura 5.2 – Levantamento topográfico do Grupo II.

O Grupo III, representado pelos Perfis 6 a 9, (Figura 5.3) foi individualizado por estar consideravelmente erodido antes do engordamento (1998), e ter sofrido pequeno recuo nos anos subsequentes (2000,2001), e em 2003 estar apresentando progradação.

Em 1998, o Grupo III apresentava-se consideravelmente erodido com distância da crista do berma cerca de 30-55m da calçada. Após o engordamento apresentou em 2000 extensões de aproximadamente 105m para os Perfis 6, 7 e 8, e 115m para o Perfil 9 recuando em 2001, e progradando de 2001 a 2003 cerca de 10 m na extensão total para os Perfis 6, 7 e 9, e 30m no Perfil 8. Tal progradação deu-se por aumento no comprimento total e também pelo aumento da altura do perfil.

A progradação e/ou aumento da altura do berma deve-se, possivelmente, ao empilhamento da água junto à costa e à diminuição da velocidade da corrente longitudinal, devido à proximidade do espigão. Esta aproximação causa a diminuição da capacidade de transporte de sedimentos, gerando deposição e desenvolve ondas altas junto da arrebentação. O aumento na altura pode ser observado, por exemplo, na altura do berma nos Perfis 6 e 9, tendo aumentado cerca de 0,6m e 1,0m, respectivamente.



Legenda: Natural 98 Set 00 Out 01 Ago 03

Figura 5.3 – Levantamento topográfico do Grupo III.

O Grupo IV, representado pelos perfis 10 a 12 (Figura 5.4) são individualizados por serem extensos antes do engordamento e esta extensão ter aumentado após a alimentação artificial.

Os perfis do Grupo IV, em 1998, apresentavam-se extensos, com comprimento superior a 100m de faixa de areia. Após o engordamento, no ano de 2000, os perfis chegaram a apresentar mais de 140 m de extensão. Em 2001 o perfil 10 recuou a distância da crista do berma em relação à calçada em 20m e o perfil 12 recuou 10m, mantendo-se o perfil 11 com mesma extensão.

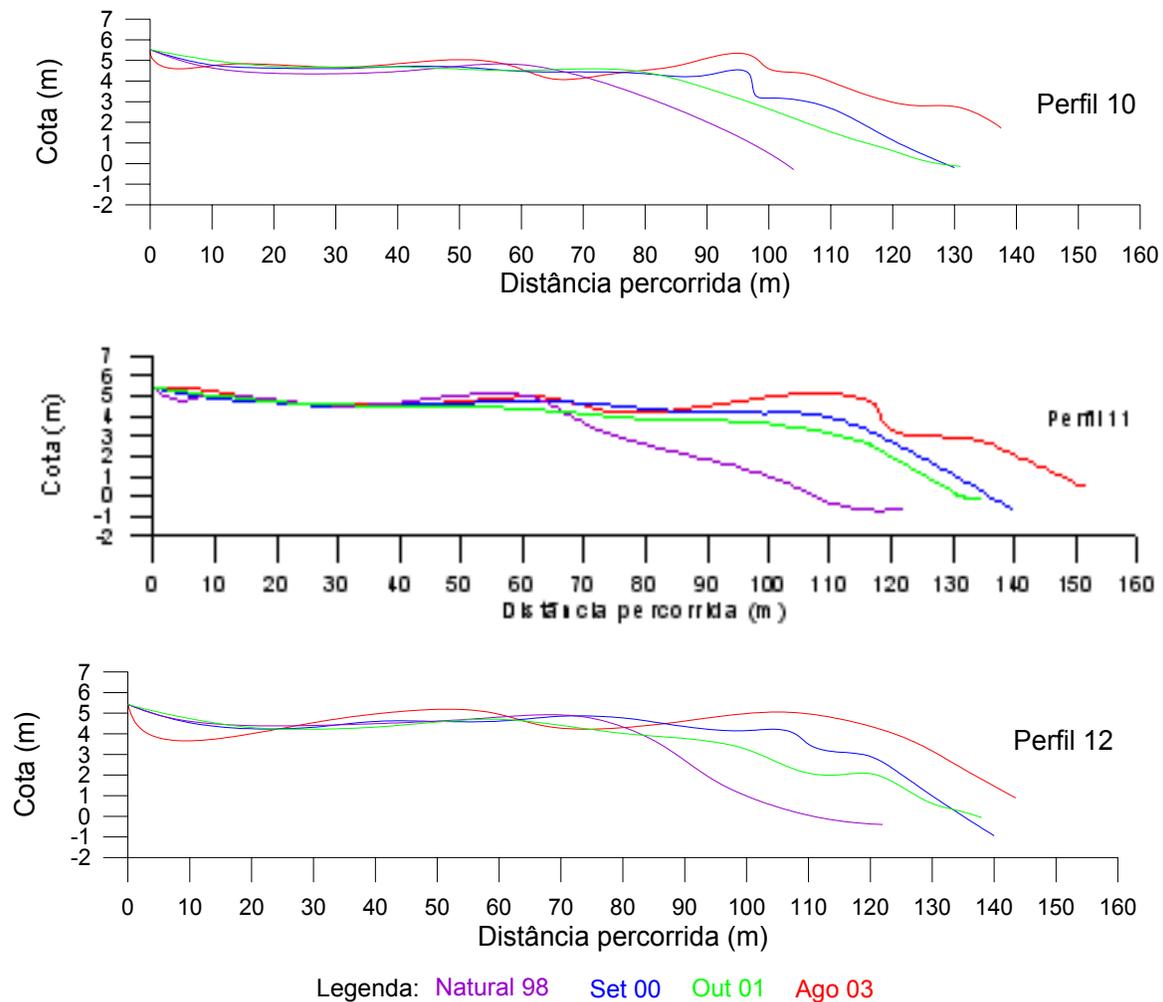


Figura 5.4 – Levantamento topográfico do Grupo IV.

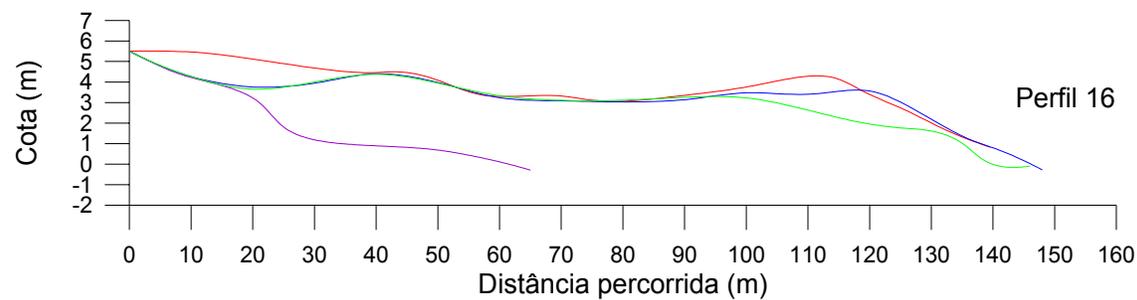
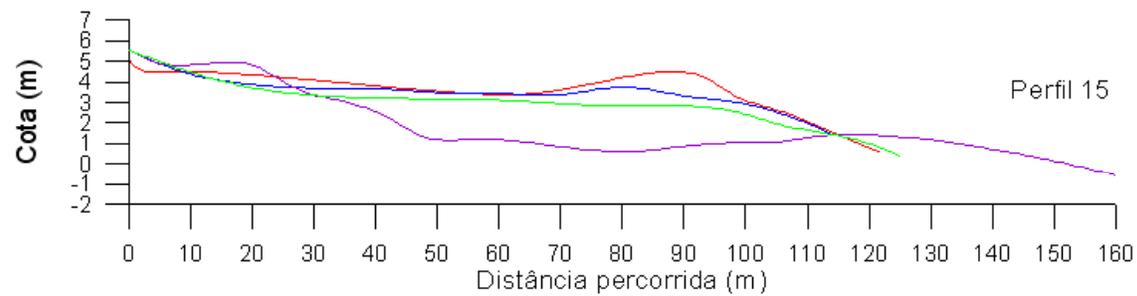
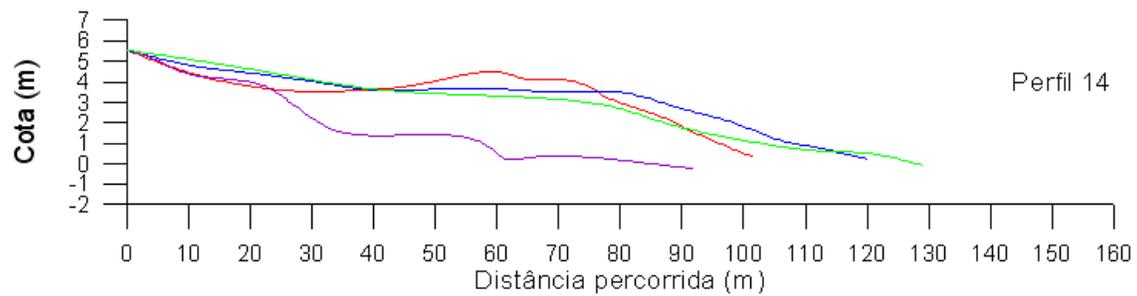
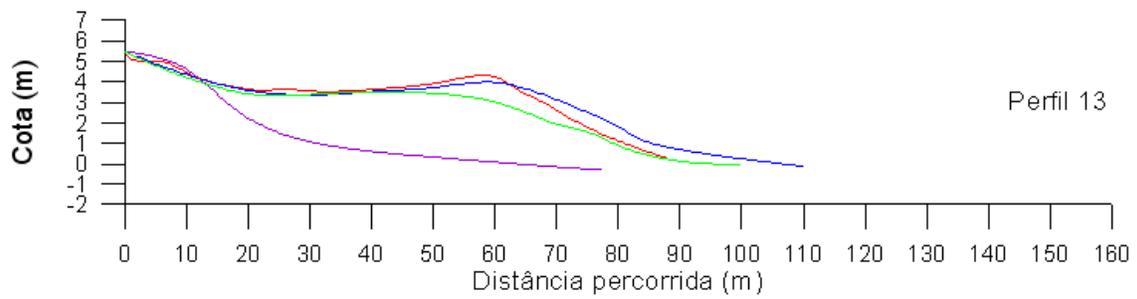
No ano de 2003 ocorreu progradação na extensão de todos os perfis por volta de 10m por perfil em relação ao projeto inicial, levando-se em conta o ganho de

volume pelo aumento da altura do berma em pouco mais de 0,9m em cada um dos perfis. Essa grande extensão inicial deve-se ao fato destes perfis receberem sedimentos transportados pela deriva litorânea, o que já ocorria antes do engordamento, e passou a ocorrer com maior intensidade após a engorda devido ao suprimento de sedimentos disponíveis para o transporte por tal deriva ter sido aumentada ao longo da praia.

Esses sedimentos transportados ficam retidos nesses perfis dada a grande proximidade com o 2º espigão.

O Grupo V é composto pelos perfis entre o segundo e o terceiro espigão, perfis 13 a 16, que se encontravam extremamente erodidos antes da intervenção, e agora permanecem estáveis, (Figura 5.5).

Em 1998 os perfis apresentavam o maior recuo da Praia de Camburi, com a distância da crista do berma a partir do ponto inicial na calçada cerca de 10m no Perfil 13 e 20m nos demais perfis. Antes do engordamento artificial, os perfis apresentavam baixa cota altimétrica, com a face praial em forma côncava, característica que enfatiza a erosão do grupo. A extensão apresenta-se variável, sendo que o Perfil 15 atingia 150m da calçada. Com o engordamento artificial foi acrescido a estes perfis alto volume de sedimentos, proporcionando ao Grupo a manutenção na extensão e na altura ao longo do perfil, de modo que a face praial ficou convexa. Após o engordamento, em 2001, os perfis começaram a recuar e/ou perder volume, sendo verificado no último ano a tendência a progradação e retorno do volume de sedimento próximo daquele após o engordamento, constatado em 2000. Os perfis apresentaram aumento na altura do berma de 0,3m; 1,0m; 0,8m e 0,6m; para os perfis 13, 14, 15 e 16, respectivamente. A variação morfológica dos perfis desse Grupo é devido à localização dos mesmos, isto é, a sotamar do 2º espigão, abrigados da ação de ondas e situados em área de deposição de sedimentos provenientes do aporte sedimentar na zona submersa.



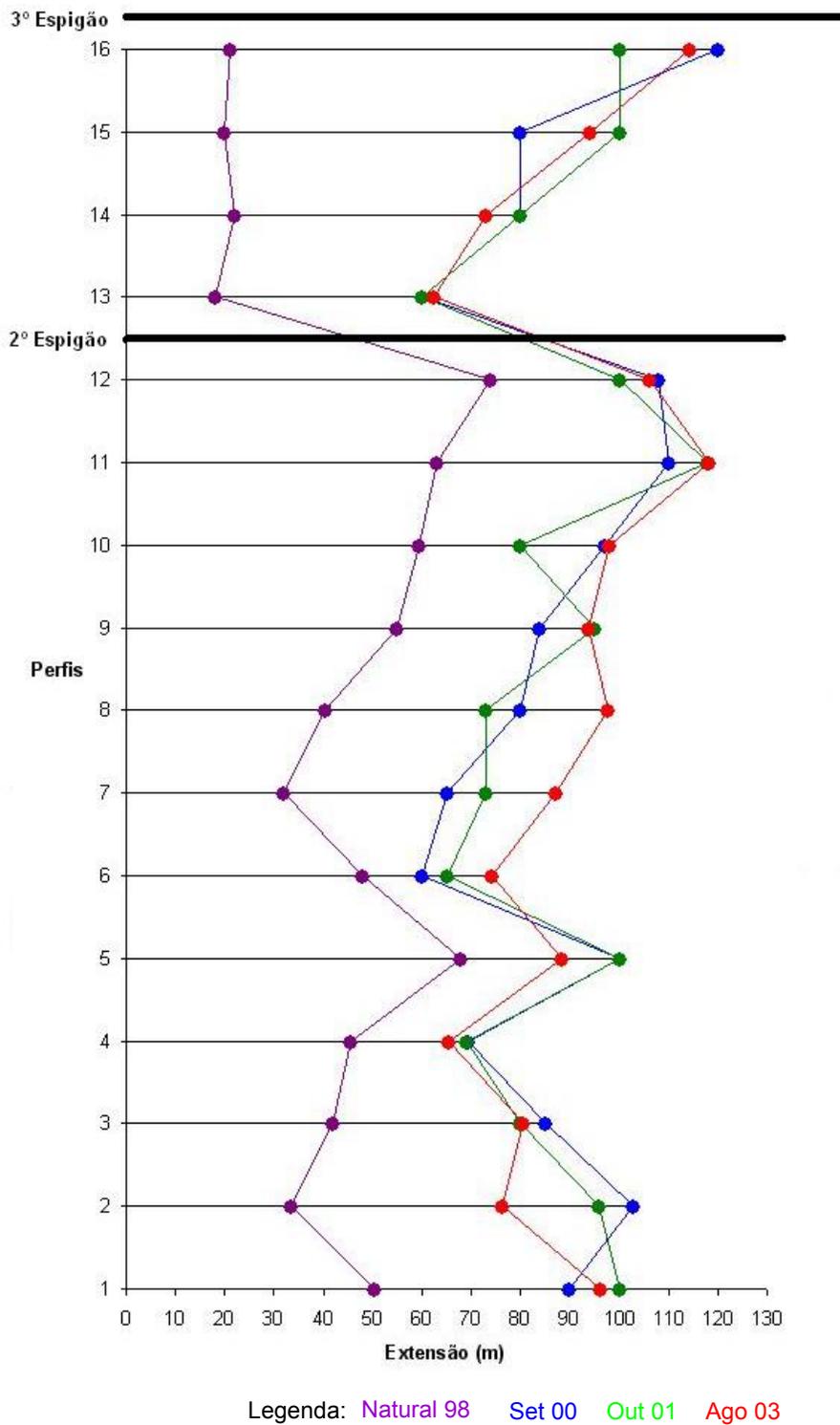
Legenda: Natural 98 Set 00 Out 01 Ago 03

Figura 5.5 – Levantamento topográfico do Grupo V.

5.1.2 Variação longitudinal

A partir da plotagem dos valores da distância entre a calçada e a crista do berma dos perfis transversais foi possível conhecer a morfologia e a variação dos perfis ao longo da praia (Figura 5.6). A visualização planar na praia permitiu confirmar a compartimentação realizada pelos Grupos de perfis e auxiliou a análise da tendência da praia de maneira mais espacial. Salienta-se, contudo, sobre a existência das limitações da projeção plana que desconsidera a perda e ganho sedimentar no volume dos perfis, como observado na análise dos perfis transversais superpostos no que diz respeito às variações de altura.

Na parte sul da Praia de Camburi observa-se a ocorrência de progradação, representada pelo Perfil 1. Entre os Perfis 2 e 5, a praia sofreu considerada erosão, principalmente o Perfil 2, sendo o Perfil 5 maior devido ao não encontro de ortogonal pela Ilha do Socó. Entre os Perfis 6 e 12 observa-se uma tendência a progradação com uma maior extensão das cristas do berma aumentando gradativamente rumo a porção NE da Praia, sendo o Perfil 12 progradado principalmente em função da altura do topo do berma. Tal papel indica que além da influência do sombreamento de ilhas, o espigão também desempenha uma forte influência na distribuição dos sedimentos, represando-os do transporte pela deriva litorânea, o que explica as tendências construtivas do trecho. A diferença na extensão total do trecho representado pelos Perfis de 6 a 9 para àquele representado pelos Perfis de 10 a 12, é devido a este último estar mais próximo do 2º espigão. Na região compreendida entre os Perfis 13 e 16 apresenta-se estável, sendo o Perfil 13 menor devido à proximidade a sotamar do 2º espigão, impedindo a chegada de sedimento diretamente pela corrente longitudinal. É que como a Baía do Espírito Santo é abrigada às ondas de direção NE que são inferiores a 0,3m, ocorre o fenômeno de difração nas ondas que chegam a mudar da direção NE para NW, terminando quase na direção N, próximo a linha de costa, sendo responsável pela formação da deriva litorânea na Praia de Camburi (ALBINO, 2001) (exemplo figura 2.4).



Ilha do Socó



Figura 5.6 – Variação da distância entre as cristas dos bermas e a calçada em 1998, 2000, 2001 e 2003.

A dinâmica da Praia de Camburi com a identificação de setores em erosão e progradação já era evidenciada em 1998, submetida ao processo erosivo. Observa-se que com a inclusão de sedimentos a forma linear da praia progradou. Esta constatação fica mais evidente quando se compara a morfologia espacial da praia em 1998 com 2003, observando, de maneira geral, a grande similaridade entre as linhas formadas pelas cristas do berma.

Contudo, durante o ajuste morfológico da praia engordada aos processos costeiros atuantes na Praia de Camburi, observa-se trechos que apresentaram ajuste diferenciado daquele observado em 1998.

O Perfil 2, por exemplo, foi mais lento no retorno da conformação linear evidenciada em 1998, provavelmente devido a alta incidência das ondas que erodiam mas traziam areias, após engorda mais disponíveis, da zona submersa

Os Perfis 7 e 8 se mostraram em progradação até o ano de 2003, devido a maior disponibilidade de material sedimentar para deposição nesse trecho, dado pelo sombreamento da Ilha do Socó, por difração e remoção dos sedimentos depositados na zona submersa.

O Perfil 13 vinha em 1998 em processo erosivo, apresentando-se com pouca variação no intervalo entre 2001 e 2003, devido ao volume de sedimentos na zona submersa ter aumentado, permitindo a incorporação sedimentos da zona submersa no lugar daqueles represados pela corrente longitudinal.

Já os Perfis 14, 15 e 16 mostram-se em progradação devido a presença do 3º espigão, antes inexistente, atuar como armadilha de sedimentos.

5.2 Variação granulometria ao longo da praia

5.2.1 Caracterização

A partir dos valores obtidos da análise granulométrica dos sedimentos da face praial da Praia de Camburi, foram construídos histogramas referentes a

representatividade percentual do sedimento em cada uma das frações de sedimento para os 8 pontos analisados.

A Estação 1 (P1) (Figura 5.7) apresentou areias médias, cerca de 65%, a finas, com distribuição caracterizada pela forte assimetria para o lado dos finos e moderadamente selecionada.

A Estação 3 (P3), (Figura 5.7) apresenta predomínio de areias médias, cerca de 56% e finos, cerca de 40%, sendo moderadamente bem selecionada e aproximadamente simétrica.

A Estação 5 (P5) (Figura 5.7) apresenta areias mal selecionada com assimetria para o lado dos grossos, possuindo representatividade em todas as frações de sedimento consideradas, com cerca de 52% de médios 30% de finos e 28% de grossos.

Os sedimentos da Estação 7(P7) (Figura 5.7) apresenta sedimento moderadamente selecionado e assimétrico para o lado dos grossos, com a representatividade consideráveis em todas as frações, tendo predominância nos médios com cerca de 55%, e o restante dos sedimentos bem divididos entre finos e grossos, 22% e 23% respectivamente.

As areias da Estação 9 (P9) (Figura 5.8)apresentaram assimetria para o lado dos grossos e moderadamente selecionada com cerca de 50% médios e cerca de 35% de finos.

As areias da Estação 12 (P12) (Figura 5.8) são moderadamente bem selecionadas e aproximadamente simétrica, tendo predominância de sedimentos de fração média, com cerca de 68%.

Já as areias da Estação 13 (P13) (Figura 5.8) apresentam distribuição assimétrica para os grossos com pobre a moderado grau de seleção, representado principalmente por frações médias, cerca de 48%, e finas, cerca de 38%. Por fim, as areias da Estação 16 (P16) (Figura 5.8) mostraram-se assimétricas para os

grossos, com moderado grau de seleção, tendo predominância de sedimentos médios, cerca de 48% a finos cerca de 42%.

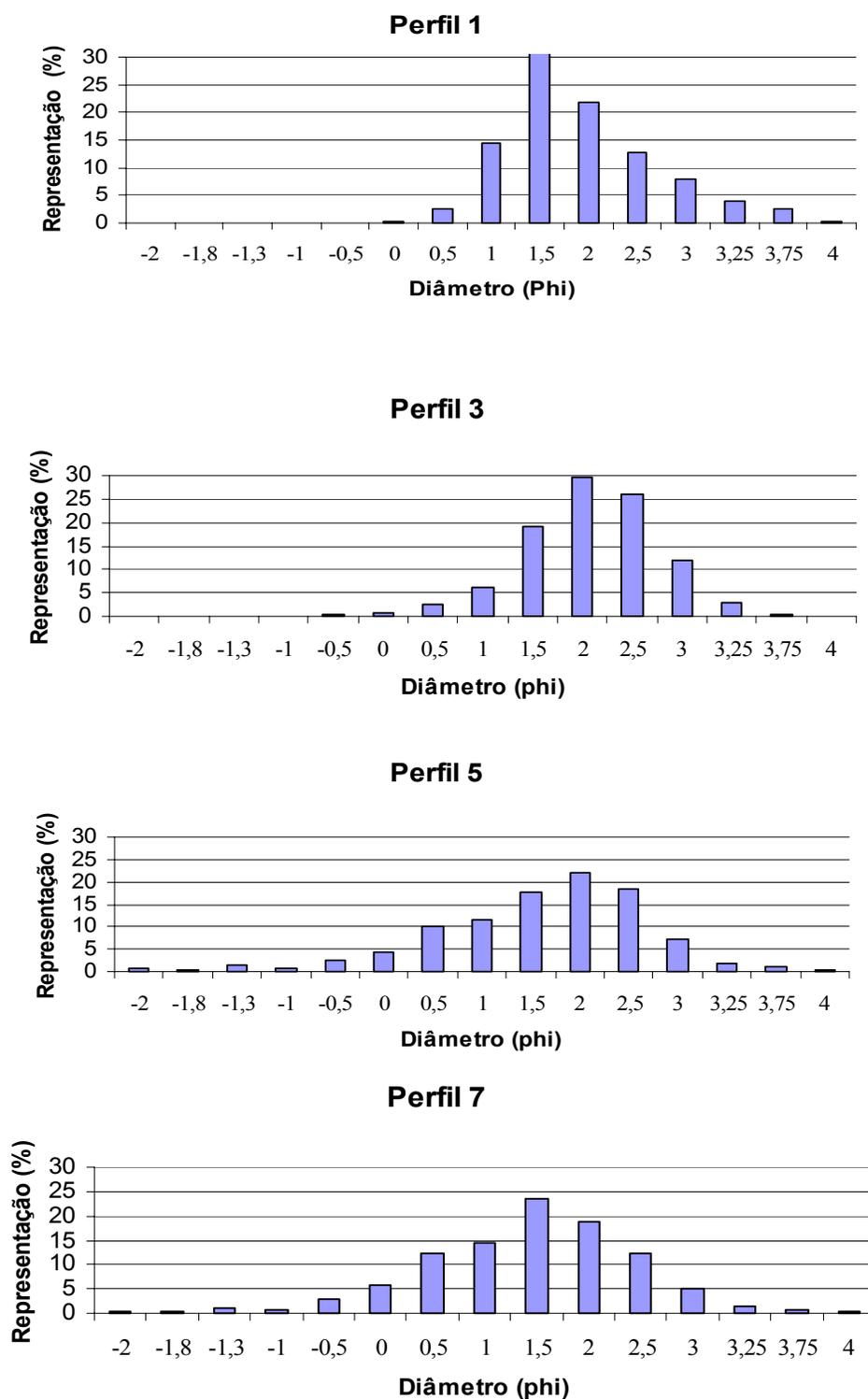


Figura 5.7 - Histogramas das Estações praias 1, 3, 5 e 7.

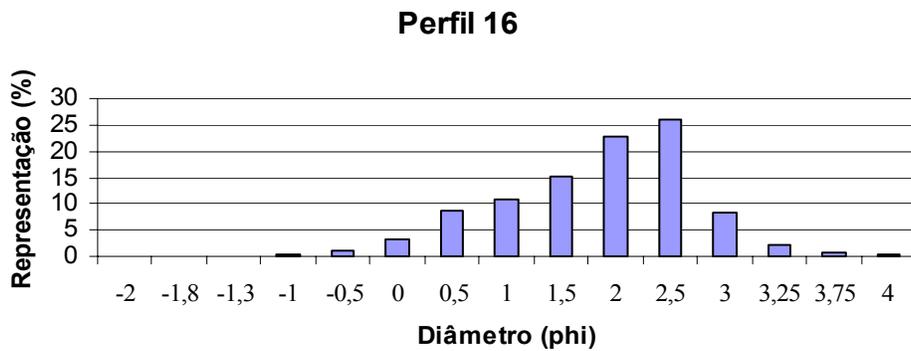
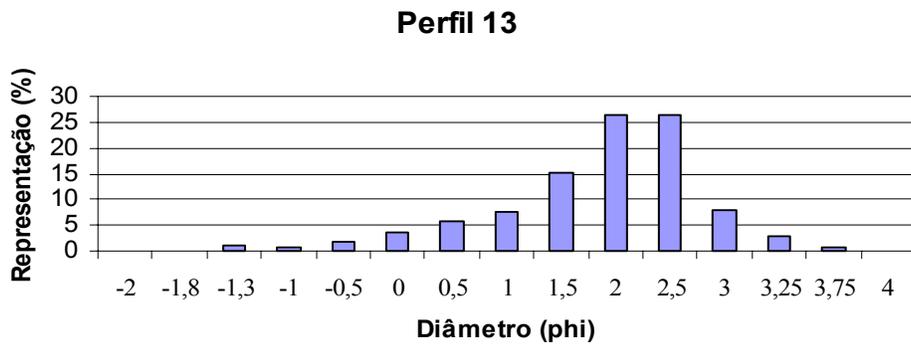
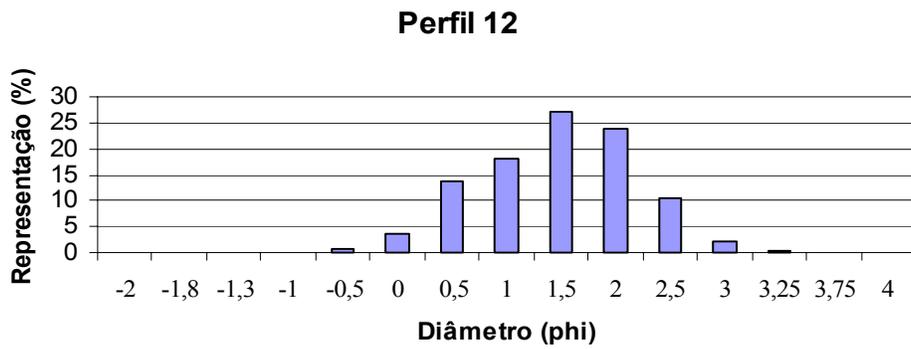
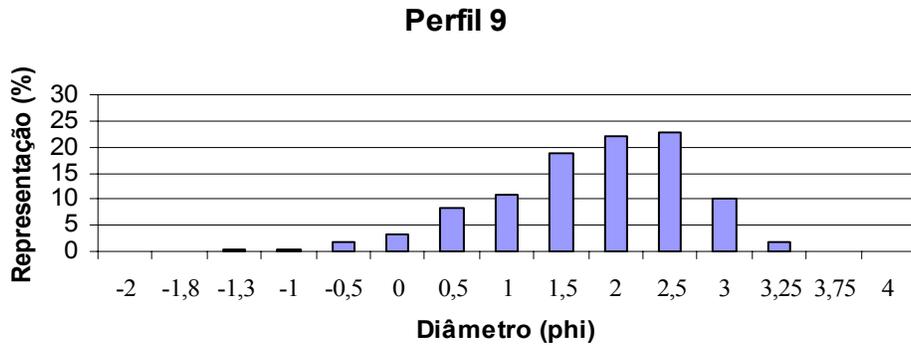


Figura 5.8 – Histogramas das Estações praias 9, 12, 13 e 16

Segundo Albino et al. (2001), as areias da Praia de Camburi após o engordamento artificial, apresentaram-se compostas basicamente por material litoclástico, e sua distribuição granulométrica foi caracterizada por areias com muito pobre a moderado grau de seleção, areias similares ao material despejado no engordamento apresentava um predomínio de areias grossas e médias, de phi entre 0,00 e 1,50.

A praia de Camburi apresentou em 2003 uma granulometria predominantemente média ao longo de todas as Estações, revelando tendência adaptativa da praia a permanecer com tal granulometria. Constata-se que a praia de Camburi vem apresentando menor variação granulométrica em vista a evolução do seu processo de adaptação pós engordamento, como sugerido por Albino e Oliveira (2000). As autoras verificaram ao longo de 1999 e 2000, que a Praia estava recuando e perdendo a fração fina do material despejado no engordamento.

5.2.2 Distribuição espacial da morfologia e granulometria

A superposição das linhas de variação do diâmetro médio (Mz) ao longo da Praia de Camburi com o passar dos anos (Figura 5.9), mostra que a praia seguiu uma tendência de afinamento dos seus grãos, mantendo-se em 2003 com uma granulometria média em todos os trechos da praia. Verifica-se também que ao longo do trecho compreendido entre os Perfis 1 e 5, houve grande variação granulométrica entre os anos de 2000 e 2001, que pode ser explicado pelo fato que além deste trecho nos anos citados estarem nas fases iniciais de adaptação da praia, conforme verificado na variação morfológica (Figura 5.6), ele corresponde a zona de maior dinâmica da Praia de Camburi, e maior proximidade com o Canal da Passagem, dificultando assim a análise do trecho.

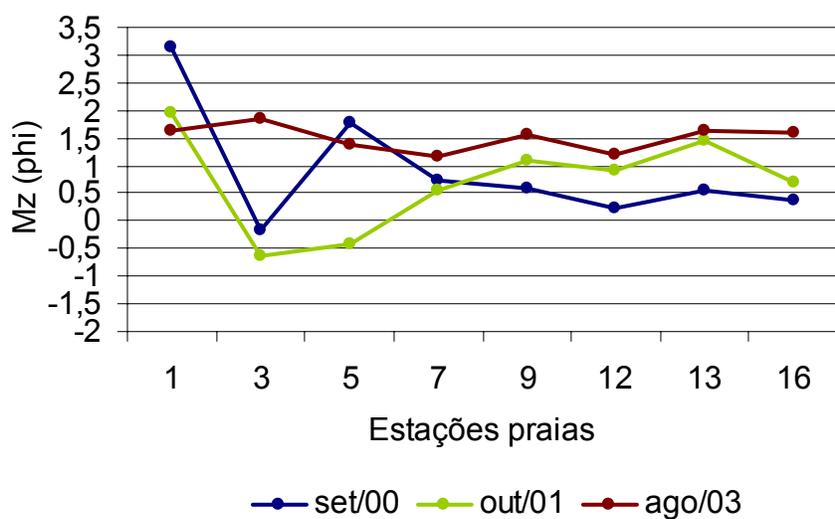


Figura 5.9 – Variação do diâmetro médio (Mz) ao longo da Praia de Camburi com o passar dos anos.

No ano de 2000 (Figura 5.10) os trechos que sofreram recuo estão relacionados com a perda de sedimento mais finos, retirados no processo de adaptação. Já a partir do Perfil 12, entre os espigões, tem-se menor dinâmica com progradação ou recuo, constituídos com areias grossas, por não ter ainda recebido sedimentos de fração fina pela deriva litorânea.

A região compreendida entre os Perfis 1 a 7 indicou complexa variação granulométrica entre 2000 e 2001, como resultado de alta dinâmica e lentidão no ajuste morfológico.

Entre os Perfis 9 e 16, já em 2001 pode se observar o deslocamento do diâmetro médio (Mz) para areias médias a finas, dado pelo aporte de sedimentos mais finos transportados pela deriva litorânea.

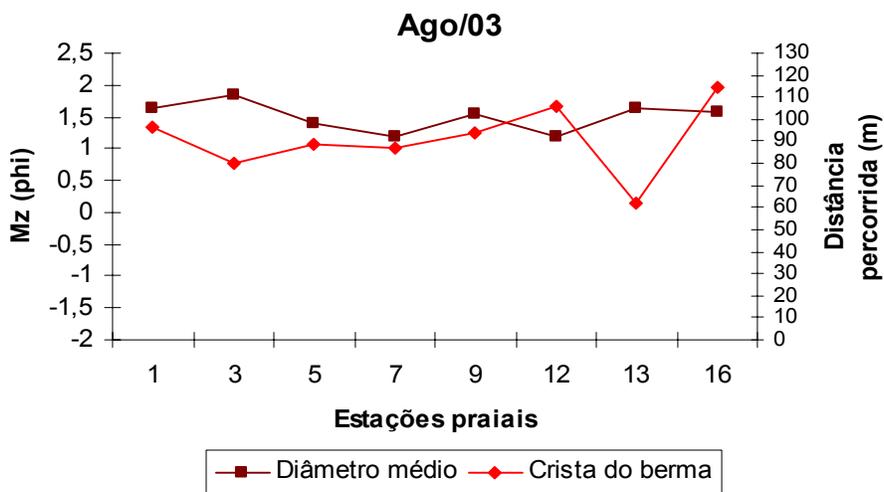
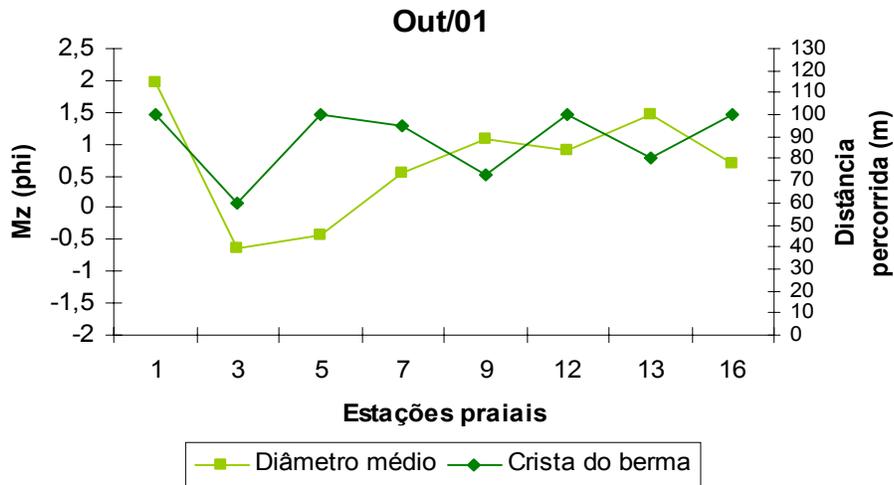
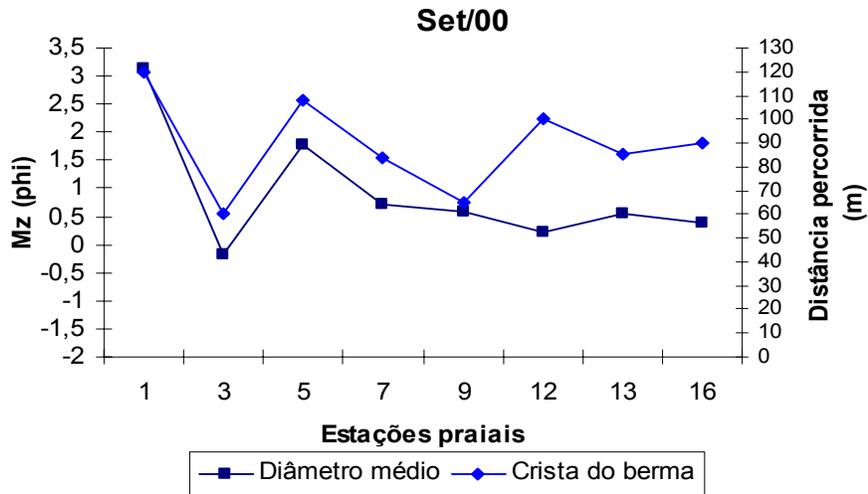


Figura 5.10 – Comparação entre linha da crista do berma e o diâmetro médio ao longo da praia de Camburi, nos anos de 2000, 2001 e 2003.

As areias apresentaram diâmetro médio ao longo de toda praia, contudo observa-se grau de seleção moderado e pobre grau de seleção (Figuras 5.7 e 5.8). O diâmetro médio ao longo da praia indica a tendência à estabilidade morfotextural da praia e/ou os recentes eventos erosivos e deposicionais da praia. Pode indicar que a praia encontrou a população granulométrica ideal, já que os eventos ocorrentes na Praia de Camburi como entrada de ondas de diferentes quadrantes e com diferentes intensidades geram as complexas trocas sedimentares longitudinais e transversais.

A manutenção das areias médias nas últimas estações praias, em vez de seu afinamento observado nos primeiros anos de adaptação morfotextural, indica a fraca atuação da corrente longitudinal no transporte das areias finas no ano recente, 2003, que ficam retidas nos perfis devida sua tendência a estabilidade e/ou progradação.

5.3 Variação morfotextural

Os resultados analisados indicam trechos morfodinâmico ao longo da praia de Camburi que se adaptaram com comportamento diferenciado ao engordamento artificial.

Por ser o trecho representado pelos Perfis 1 a 5, localizado na zona de maior dinâmica da Praia de Camburi, devido à chegada de ondas altas e normais ele é composto por um sedimento mais grosso, apresentando alta declividade (BASCON, 1951). Por ser ladeado pelo Píer de Iemanjá (Figura 4.1) onde há empilhamento da onda refletida com a onda incidente, gera-se com tal acúmulo de água o aumento de altura das ondas nesta parte da praia, mantendo-se o Perfil 1 convexo.

O trecho compreendido entre os Perfis 6 e 12 já se apresenta com uma granulometria mais fina, já que mesmo sendo uma zona de baixa dinâmica, dada difração da Ilha de Socó e da proximidade com o 2º espigão, apresenta possibilidade de deposição dos sedimentos finos advindos da deriva litorânea. Além disto a proximidade do espigão gera a perda de boa parte da velocidade da

corrente longitudinal, o que causaria o afinamento dos grãos (KOMAR, 1977). Por fim, o trecho compreendido entre os 2º e 3º espigões, Perfis 13 a 16, se apresenta com sedimentos finos por realizarem trocas de sedimento basicamente transversalmente com a zona submersa, depositados na região submersa com resultado do recuo durante o processo adaptativo (Albino et al. 2001).

Há também a reflexão de ondas, por ser a Baía do Espírito Santo fechada, onde as ondas represadas são conhecidas como "seiches", que podem ser do mesmo tamanho das ondas incidentes, e se a onda viajar exatamente na direção oposta daquela recém refletida, ela pode empilhar (CARTER, 1988), como ocorre principalmente nas proximidades do Píer de Iemanjá (Perfil 1), e 2º píer (trecho entre os Perfis 10 a 12), causando a construção da praia pelo aumento da cota topográfica.

O engordamento proporcionou um aumento de volume de sedimentos na zona submersa devido ao recuo inicial (ALBINO, 2001). Estes sedimentos devido à configuração geográfica, sedimento de granulometria fina em geral (Figura 2.8), ficam retidos ou parcialmente retidos na baía sendo remobilizados para a praia juntamente com sedimentos supridos do possível aporte fluvial advindo do canal da passagem, preferencialmente sob condições menos energéticas, como sob influência das ondas da direção NE. Sob esta condição tem-se o maior empilhamento da onda (KOMAR, 1976) e oportunidade de sedimentação da porção emersa. Já sob efeito das ondas vindas das direções E-SE e S-SE, esses sedimentos retornam a zona submersa.

5.4 Avaliação das recentes intervenções

O processo de engordamento na Praia de Camburi obteve sucesso por ter sido acrescido a praia sedimento de granulometria média a grossa (ALBINO, 2001), que resultou numa praia mais íngreme e conseqüentemente reflexiva, reduzindo a perda de sedimentos por processo de erosão os quais eram levados para a região submersa e provavelmente assoreavam o canal de acesso ao Porto de Tubarão. Agora, com a estabilidade no balanço sedimentar, a maior parte das areias

permaneceu na praia, diminuindo assim a necessidade de dragagem do canal do Porto de Tubarão.

A construção dos 2º e 3º espigões demonstrou ter sido uma solução pouco eficaz para contenção do processo erosivo da Praia de Camburi, uma vez que, constatou-se uma eficaz troca sedimentar transversal, conforme sugerido por Albino et al. 2001 e Albino e Maia (2002). Além disto o espigão impede a passagem do aporte sedimentar trazido da deriva litorânea ocasionada pelas ondas de NE, assim como observado nas proximidades do 2º espigão. Esta estrutura influencia o trecho compreendido entre os Perfis 13 a 16, tanto que tal trecho se apresentava em 1998 o mais erodido (10 a 20m de distância da crista do berma). A perda de sedimento mais fino durante período adaptativo, logo após o engordamento artificial, foi transferida ao longo da praia suprimindo a zona submersa do trecho entre os Perfis 13 e 16, de modo que eles pudessem assim receber sedimento por trocas transversais (ALBINO et al, 2001), sendo devido a este aporte sedimentar a contenção da erosão neste trecho. Além do problema descrito, os espigões não contribuem para a harmonia paisagística, considerando que a Praia de Camburi é um importante atrativo turístico do município de Vitória.

O engordamento foi, portanto, uma boa opção de intervenção utilizada para a Praia de Camburi, pois dentre outras vantagens do engordamento, ele proporcionou uma praia recreativa mais larga, proteção para estruturas da linha de costa e a habilidade para trocar a outros métodos de intervenção praial no futuro (NRC, 1995 apud GREENE, 1992).

6. CONCLUSÃO

A Praia de Camburi apresentou setores com resposta de adaptação morfodinâmica diferentes após a última intervenção, sendo o setor próximo ao Píer de Iemanjá exposto às ondas causando refletividade do perfil. Rumo a norte, antes do setor sob efeito de sombreamento, os perfis apresentam-se recuados devido à convergência de ortogonais das ondas difratadas em torno a Ilha do Socó. Sob efeito do sombreamento e proximidade do segundo espigão, os perfis progradam. E entre os dois espigões o trecho tende à estabilidade já que o material retido a barlar do espigão, transportado pela deriva longitudinal, não é superior ao material que atinge e fica retido no trecho trazido pelo transporte transversal.

Após a implantação de uma intervenção, é necessário aguardar um certo tempo para se avaliar a eficiência da mesma, já que a adaptação da costa não é imediata, principalmente se tratando de zonas de grande dinâmica.

De maneira geral o engordamento causou a maior reflexão da praia traduzida por perfis com alta declividade e areias médias. A tendência de refletividade da praia mantém os sedimentos na porção emersa da praia, diminuindo a necessidade de dragagem do canal de acesso dos navios ao Porto de Tubarão, mantendo o equilíbrio sedimentar do sistema Baía do ES e Praia de Camburi.

A deriva litorânea desenvolvida por onda NE apresenta baixa capacidade de transporte. Os dados morfológicos e granulométricos indicam a maior importância do transporte transversal.

Desta forma os espigões transversais, construídos a fim de armazenar sedimento da praia mostram-se ineficientes na contenção da erosão. O engordamento mostrou-se mais eficiente na contenção do processo erosivo e é recomendável, considerando a granulometria utilizada.

Seria relevante realizar mais campanhas de monitoramento, com o passar do tempo para acompanhamento mais detalhado do processo adaptativo da Praia de Camburi ao engordamento artificial.

7. REFERÊNCIAS

ALBINO, J. **Presença de um tómbolo submarino e sua influência na dinâmica sedimentar da plataforma continental interna e na morfodinâmica praias, Macaé - RJ.** Departamento de Geociência - UFES. 1993.

ALBINO, J. **Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das Praias de Bicanga a Povoação, ES.** Tese de doutoramento. Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar. Instituto de Geociências USP. 1999.

ALBINO, J e OLIVEIRA, R., **Influência das couraças lateríticas da formação Barreiras na topografia e distribuição granulométricas dos perfis praias de Bicanga e Manguinhos – ES.** Anais I Simpósio Processos Sedimentares e Problemas Ambientais da Zona Costeira do NE do Brasil. 1995

ALBINO, Jacqueline; OLIVIERA, Rosângela; ALENCASTRE, Kleverson; ARAÚJO, Renato. **Adaptação morfológica e variação das areias da Praia de Camburi, Vitória – ES, após recente engordamento artificial.** Relatório de Pesquisa registrada na PRPPG/UFES n. 006/99.

ALBINO, Jacqueline; OLIVIERA, Rosângela; MAIA, Luís Parente; ALENCASTRE, Kleverson. **Processos atuais de sedimentação marinha e praias do litoral de Vitória, ES.** Relatório n. 198.2506/ 2000 FACITEC & Prefeitura Municipal de Vitória. 2001.

ALBINO, Jacqueline; OLIVEIRA, Rosângela. **Monitoramento Topográfico e granulométrico das areias da Praia de Camburi, Vitória, ES Antes, Durante e Após o Engordamento Artificial.** Simpósio Brasileiro sobre praias Arenosas. 2000 Pg.: 355

ARAÚJO & MARA. **Varição Temporal da Granulometria das areias da Praia de Camburi - Vitória, ES.** Trabalho Científico. CCHN-UFES. 2001

BANDEIRA Jr., AN., PETRI, S. & SUGUIO, K. **Projeto Rio Doce.** Rio de Janeiro. Petrobrás/Cenpes. 203p. (Relatório Final). 1975.

BASCO, D. R. **Surf zone currents.** MR-82-7, Coastal Eng. Res. Center. US Army. Fort Belvoir. Va. 1982

- BASCOM, W. **The Relationship Between sand size and beach face slope.** Transactions, American Geophysical Union. V. 32. n. 6. December 1951
- CARTER, R.W.G. **Coastal Environments – An introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastline.** Academic Press, Cambridge. 1988.
- CARTER, R.W.G. **Coastal Environments.** E.U.A. São Diego. 4ª ed. Ed. Academic Press. 617p. Pg.: 78. 1993.
- COSTA, B.R. **Expansão urbana da área norte de Vitória.** Espírito Santo. Ed. Cultural, 1989.
- EMERY, K.O. **A simple method of measuring beach profile.** Limnol. Ocean. 6:90-93. 1961
- GRAVENS, M.; EBERSOLE, B.; WALTON, T.; WISE, R. **BEACH FILL DESIGN.** Set. 2001
- GREENE, Karen. **Beach Nourishment: A Review of the Biological and Physical Impacts.** Atlantic States Marine Fisheries Commission. Habitat Management Series # 7. Washington DC. November 2002. 179p. Pg.: 10
- KELLER, Edward A. **Environmental Geology.** E.U.A. Califórnia. 1992. 6ª ed. Ed. Macmillan Publishing Company. 521p. Pg.: 230,232 e 233.
- KOMAR, P.D. **Beach Processes and Sedimentation.** Prentice-Hall. Englewood Cliffs. NJ. 1976.
- KOMAR, P.D. **Beach Processes and Erosion – An introduction.** In KOMMAR: handbook of Coastal Processes and Erosion. CRC Press. 1983
- KOMAR, P. D. **Selective longshore transport rates of different grain-size fractions within a beach.** Journal of Sedimentary Petrology. USA. v. 47. 1977.
- McCAVE, I. N. **Grain-size trends and transport along beaches: example from eastern England.** Marine Geology. England. v. 28. 1978.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K; FLEXOR, J.M.; ARCHANJO, J.D. **Coastal Quaternary formations of the southern part of the state of Espírito Santo (Brazil).** Na. Acad. Bras. Cien. 68(3): 389-404. 1996

MELLO, E. & GONZALES, J. de A. **Proceedings of the COPEDEC IV International conference on coastal and Port Engineering in development countries.** Vol I:397-411. September 1995, Rio de Janeiro, RJ.

MUEHE, D. **Geomorfologia Costeira.** In GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos.** Ed. Bertrand Brasil. 1993.

OLIVEIRA, E. G. **Influência da Ilha de Pitua na dinâmica da Praia de Itapoá, Vila Velha, ES.** Monografia de graduação em geografia. Departamento de Geografia. Universidade Federal do Espírito Santo. 1995

SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Marinha.** T.A. Queiroz. ed. SãoPaulo. 1992.

WELLS, J.T. & J. McNINCH. 1991. **Beach scraping in North Carolina with special reference to its effectiveness during Hurricane Hugo.** J. Coast. Res., SI 8 II, 249-261.

ANEXOS