



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



CAROLINE LEÃO

VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DAS CÚSPIDES DA PRAIA DE  
CAMBURI, VITÓRIA - ES

VITÓRIA  
2005

CAROLINE LEÃO

VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DAS CÚSPIDES DA PRAIA DE  
CAMBURI, VITÓRIA - ES

Monografia de conclusão de curso,  
apresentada ao Departamento de  
Ecologia e Recursos Naturais da  
Universidade Federal do Espírito Santo,  
como requisito parcial para obtenção da  
graduação em Oceanografia.  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Jacqueline Albino

**VITÓRIA**

**2005**

**CAROLINE LEÃO**

**VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DAS CÚSPIDES DA PRAIA DE  
CAMBURI, VITÓRIA - ES**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Jacqueline Albino  
Orientadora – UFES/DERN

---

Prof. Dr. Alex Cardoso Bastos  
Examinador – UFES/DERN

---

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

VITÓRIA (ES), 11 DE MARÇO DE 2005

## AGRADECIMENTOS

À Prof<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Jacqueline Albino, orientadora e amiga, pela paciência e compreensão, principalmente durante a elaboração desta monografia, pelos ensinamentos transmitidos e por todos os momentos agradáveis que passei atuando como estagiária do Laboratório de Sedimentologia;

Ao Prof. Dr. Gilberto Fonseca Barroso, que além de ter me ensinado os princípios básicos de utilização do GPS e do *software* GPS *TrackMaker*, sempre se mostrou disposto a ajudar, assim como a Prof<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Ieda Maria Oliveira da Silveira;

Aos colegas do Laboratório de Sedimentologia, Alexandre, Renata, Pablo e Bruno, pelos momentos de descontração e auxílio na realização das atividades tanto de campo, quanto de laboratório;

Aos colegas que também participaram das atividades de campo, Marcel e Nélio, pela boa vontade;

Ao colega Antônio, pela ajuda na sobreposição do mapa e dicas de utilização do *software* *Arcview GIS 3.2*;

Aos colegas, Ana Cláudia e Christian, pelos momentos juntos como orientandos;

À todos os demais colegas da turma de oceanografia, que de alguma forma fizeram parte desta caminhada;

Aos meus pais e irmãos, pelo apoio em todos os momentos, em especial ao meu pai, José Luis Leão, que também participou de algumas campanhas de campo;

À João, que chegou na reta final da elaboração desta monografia, e mesmo sem entender do assunto, tentou ajudar no que pode;

E, àqueles que não foram citados, mas de alguma forma contribuíram para esta realização.

*"Grandes realizações são possíveis  
quando se dá importância aos pequenos  
começos".*

**Lao Tsé**

## RESUMO

A praia de Camburi responde morfodinamicamente às alterações meteoceanográficas sazonais e apresenta em alguns trechos, morfologias rítmicas conhecidas como cúspides praias (*beach cusps*). Este trabalho visa conhecer a variabilidade espacial e temporal das cúspides da praia de Camburi, além de validar o método de caminhamento com GPS, utilizado sobre a crista do berma/cúspides, nos estudos de morfodinâmica praias. Os resultados mostram a setorização da praia diretamente relacionada com a presença das cúspides e processos morfodinâmicos: Setor 1, onde a praia é intermediária, com declividade moderada a alta de antepraia, grãos grossos, não havendo ocorrência de cúspides, principalmente devido à atuação da deriva litorânea; Setor 3, que se apresenta com estado morfodinâmico dissipativo, declividade de antepraia moderada a baixa e areias finas, não permitindo o desenvolvimento das cúspides; Setor 2, com presença de cúspides, sendo a praia intermediária, com declividade alta a moderada da antepraia, ondas do tipo ascendente e mergulhante e sedimentos médios. Essas cúspides apresentam comportamentos recorrentes, sendo possível o estabelecimento de sub-setores de acordo com sua estabilidade morfológica, espaçamento das cristas e presença de escarpas, e ainda podem servir como assinaturas de 1ª ordem de mudanças na morfodinâmica da praia de Camburi, pois suas cristas se envergam de acordo com a entrada de ondas e ventos. O método de caminhamento com GPS revela-se simples e satisfatório, sendo sua aplicação bem sucedida nesta monografia devido ao número de campanhas realizadas, de onde foi possível reconhecer padrões e identificar comportamentos anômalos das cúspides, apesar do descarte de algumas campanhas devido a problemas de captação do GPS.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Imagem de satélite da área de estudo: praia de Camburi, adjacente à baía do Espírito Santo, Vitória –ES.	11
<b>Figura 2</b> - (A) Distribuição das frequências das alturas de ondas significativas e (B) Distribuição das frequências dos períodos nas proximidades do porto de Tubarão, Vitória, ES.	15
<b>Figura 3</b> - Mapa batimétrico da Baía do Espírito Santo.	16
<b>Figura 4</b> - Padrão de chegada das ondas de NE (45° a partir do N, 0°) na Baía do Espírito Santo.	17
<b>Figura 5</b> - Padrão de chegada das ondas de ESE (105° a partir do N, 0°) na Baía do Espírito Santo.	18
<b>Figura 6</b> - Padrão de chegada das ondas de SSE (170° a partir do N, 0°) na Baía do Espírito Santo.	19
<b>Figura 7</b> - Em A, foto da década de 70 da praia de Camburi; Em B, foto atual da praia. Em ambas observa-se a presença das cúspides.	21
<b>Figura 8</b> - Parâmetros de uma onda.	22
<b>Figura 9</b> - Imagem tridimensional das ondas de borda ( <i>edge waves</i> ) na zona de surfe.	25
<b>Figura 10</b> - Sistema das correntes de retorno.	26
<b>Figura 11</b> - Vista esquemática da relação entre topografias rítmicas, correntes de retorno e nodal das ondas de borda.	27
<b>Figura 12</b> - Subdivisão e terminologia do perfil praial.	29
<b>Figura 13</b> - Estados morfodinâmicos das praias.	30
<b>Figura 14</b> - Desenho esquemático de uma cúspide, em A vista superior, com o padrão de circulação de espraiamento associado à morfologia da cúspide e, em B vista lateral, onde são mostradas as cristas ( <i>Horn</i> ) e as cavas ( <i>embayment</i> ).	33
<b>Figura 15</b> - Mapa de acompanhamento da linha de costa, com pontos conhecidos da orla de Camburi, para facilitar a identificação dos 3 setores baseados na presença das cúspides, morfodinâmica e tipologia praial.	40
<b>Figura 16</b> - Sobreposição dos caminhamentos mostrando somente o Setor 1, com duas fotos do Setor no detalhe.	41
<b>Figura 17</b> - Sobreposição dos caminhamentos mostrando o final do Setor 2 e o Setor 3, com duas fotos do Setor 3 no detalhe.	42
<b>Figura 18</b> - Sobreposição dos caminhamentos mostrando somente o Setor 2, com duas fotos do Setor 2 no detalhe.	43
<b>Figura 19</b> - Sub-setores do setor 2.	44

<b>Figura 20</b> - Foto mostrando o sub-setor A (círculo verde), onde começam a aparecer cúspides, em frente ao Clube dos Oficiais.	<b>45</b>
<b>Figura 21</b> - Sobreposição dos caminhamentos no Sub-setor A: forma irregular das cúspides.	<b>45</b>
<b>Figura 22</b> - Cúspide do sub-setor B, onde há destruição da crista e desenvolvimento de escarpa.	<b>46</b>
<b>Figura 23</b> - Sobreposição de 3 dos 7 caminhamentos para a melhor visualização do Sub-setor B.	<b>46</b>
<b>Figura 24</b> - Sobreposição de 3 dos 7 caminhamentos para a melhor visualização do Sub-setor C.	<b>47</b>
<b>Figura 25</b> - Sobreposição de 3 dos 7 caminhamentos para a melhor visualização do Sub-setor D.	<b>48</b>
<b>Figura 26</b> - Foto do sub-setor E, entre os 2º e 3º espigões, onde a posição das cavas das cúspides se manteve estável ao longo das campanhas.	<b>48</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Informações a respeito da morfodinâmica e tipologia da praia de Camburi.	<b>20</b>
<b>Tabela 2</b> - Especificações do GPS <i>Garmin 12</i> .	<b>36</b>
<b>Tabela 3</b> - Condições meteoceanográficas para os dias dos levantamentos e dois dias anteriores ao campo.	<b>38</b>
<b>Tabela 4</b> - Comportamento das cristas durante as campanhas.	<b>49</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
1.1	APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVA	9
1.2	OBJETIVOS	10
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	10
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	10
<b>2</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>11</b>
2.1	LOCALIZAÇÃO	11
2.2	ASPECTOS CLIMÁTICOS E OCEANOGRÁFICOS	12
2.2.1	<i>Clima</i>	12
2.2.2	<i>Sistemas Atmosféricos e regime de ventos</i>	12
2.2.3	<i>Marés meteorológicas</i>	14
2.2.4	<i>Ondas</i>	14
2.2.5	<i>Marés</i>	19
2.3	HISTÓRICO DO USO E OCUPAÇÃO E ASPECTOS MORFODINÂMICOS DA PRAIA	19
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>22</b>
3.1	INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA	22
3.1.1	<i>Ondas secundárias</i>	24
3.2	CORRENTES GERADAS POR ONDAS	25
3.3	MORFODINÂMICA PRAIAL E AS CÚSPIDES	29
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>35</b>
4.1	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	35
4.2	DETERMINAÇÃO DA MORFOLOGIA DAS CÚSPIDES	35
4.2.1	<i>Caminhamento sobre as cristas das cúspides</i>	35
4.3	TRANSFERÊNCIA DE DADOS PARA O COMPUTADOR	37
4.4	LEVANTAMENTO DOS DADOS METEOCEANOGRÁFICOS	37
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>38</b>
5.1	CONDIÇÕES METEOCEANOGRÁFICAS	38
5.2	SETORIZAÇÃO DA PRAIA A PARTIR DA PRESENÇA DAS CÚSPIDES E TIPOLOGIA PRAIAL	40
5.3	VARIAÇÃO DA MORFOLOGIA DAS CRISTAS SOB AS DIVERSAS CONDIÇÕES METEOCEANOGRÁFICAS	49
<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO</b>	<b>51</b>
6.1	MORFODINÂMICA DA PRAIA X PRESENÇA DAS CÚSPIDES	51
6.2	COMPORTAMENTO DAS CÚSPIDES NO SETOR 2	52
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>55</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Apresentação e justificativa

Freqüentemente, as praias apresentam morfologias complexas em três dimensões, que se apresentam rítmicas ao longo da costa, estendendo-se para a face praial e berma. Dentre estas, as mais intrigantes estruturas morfológicas são as cúspides praiais (*beach cusps*), com escala de poucos metros (KOMAR, 1998), compostas por uma sucessão de cristas triangulares, separadas por depressões em forma de meia-lua (cavas), regularmente espaçadas (SUGUIO, 1998).

As cúspides podem alcançar de 10 cm a 70 m de espaçamento (MASSELINK et al., 1997) e são formadas na antepraia superior (*foreshore*), comumente mais próximo ao nível de maré mais alta, correspondendo à face praial. Elas mostram melhor desenvolvimento sobre praias de grãos mais grossos, de pequeno alcance de maré e com grande declive (KOMAR, 1998), para que as ondas incidentes produzam uma substancial elevação do espraiamento na face da praia.

Por causa de sua regularidade marcada, as cúspides têm atraído muitos observadores e muita especulação a respeito de sua origem. As hipóteses mais discutidas são sobre sua formação por ondas de borda (*edge waves*) ou através de auto-organização (*self-organization*) devido à ação do espraiamento (KOMAR, 1998). Embora significativos progressos tenham sido feitos quanto à sua origem usando modelos numéricos, a contribuição feita por medidas de campo tem sido muito limitada (MASSELINK et al., 1997).

As cúspides respondem rapidamente a mudanças das condições de maré e onda (MASSELINK et al., 1997; COCO et al., 2004). As marés modulam sua posição transversal em relação à linha de costa: durante a preamar, a extensão transversal das cúspides decresce e, durante a baixamar, essa extensão aumenta. Marulhos (*swells*) estimulam a sua construção, enquanto ondas gravitacionais obliquamente incidentes tendem a reduzir a proeminência de sua morfologia, já que a formação de cúspides é claramente mais favorável quando as ondas aproximam-se normais à praia (JOHNSON, 1919; TIMMERMANS, 1935; LONGUET-HIGGINS e PARKIN, 1962 apud KOMAR, 1998).

A praia de Camburi, localizada na região Sudeste do Brasil, na cidade de Vitória, ES, encontra-se submetida a regime de micromaré com ondas provenientes de dois principais quadrantes: NE-E e SE-E, com predominância do primeiro (BANDEIRA et al., 1975 apud ALBINO et al., 2001). É uma enseada de 6 km de extensão, situada adjacente à Baía do Espírito Santo,

voltada para SE, que apresenta cúspides e responde morfodinamicamente às alterações meteoceanográficas sazonais (ALBINO et al., 2001).

A partir do método de caminhamento com GPS, adaptado de Marone et al. (2001), foram realizados caminhamentos sobre a crista do berma/cúspides, traçando-se a presença, a mobilidade e a distância entre as cristas das cúspides ao longo da praia de Camburi e pôde-se saber como sua forma varia temporal e espacialmente, associando-a aos eventos meteoceanográficos. Esse conhecimento adquirido se justifica pois mudanças temporais nas características dimensionais das cúspides são consideradas essenciais para avaliar o seu potencial como assinaturas de primeira-ordem das modificações da morfodinâmica praias (ANTIA, 1987). Além disso, o mapeamento das cúspides serve de identificação de áreas propícias ao desenvolvimento de correntes de retorno, perigosas ao banho de mar, devido à presença destas em suas cavas, sendo de grande utilidade para a segurança do usuário da praia de Camburi.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Conhecer a variação espacial e temporal das cúspides da praia de Camburi, Vitória- ES, associada às condições meteoceanográficas.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Setorizar a praia a partir dos processos praias e presença das cúspides;
- Contribuir para o conhecimento da morfodinâmica da praia de Camburi;
- Validar o método de caminhamento com GPS nos estudos de morfodinâmica praias.

## 2 ÁREA DE ESTUDO

### 2.1 Localização

A praia de Camburi localiza-se ao norte do município de Vitória, no Estado do Espírito Santo, região Sudeste do Brasil, entre as coordenadas  $20^{\circ}18'S$   $20^{\circ}16'S$  e  $40^{\circ}18'W$   $40^{\circ}15'W$  (Figura 1). Está situada à desembocadura do Rio da Passagem e consiste numa enseada de 6 km de extensão, localizada na porção continental de planície marinha/fluvial quaternária (ALBINO et al., 2001). Possui como limites sul afloramentos do cristalino representados pela Ilha do Fato e Ponta Formosa (Morro do Colégio Sagrado Coração de Maria) e, ao norte por uma saliência dos Tabuleiros da Formação Barreiras e pelo Porto de Tubarão (COSTA, 1989).

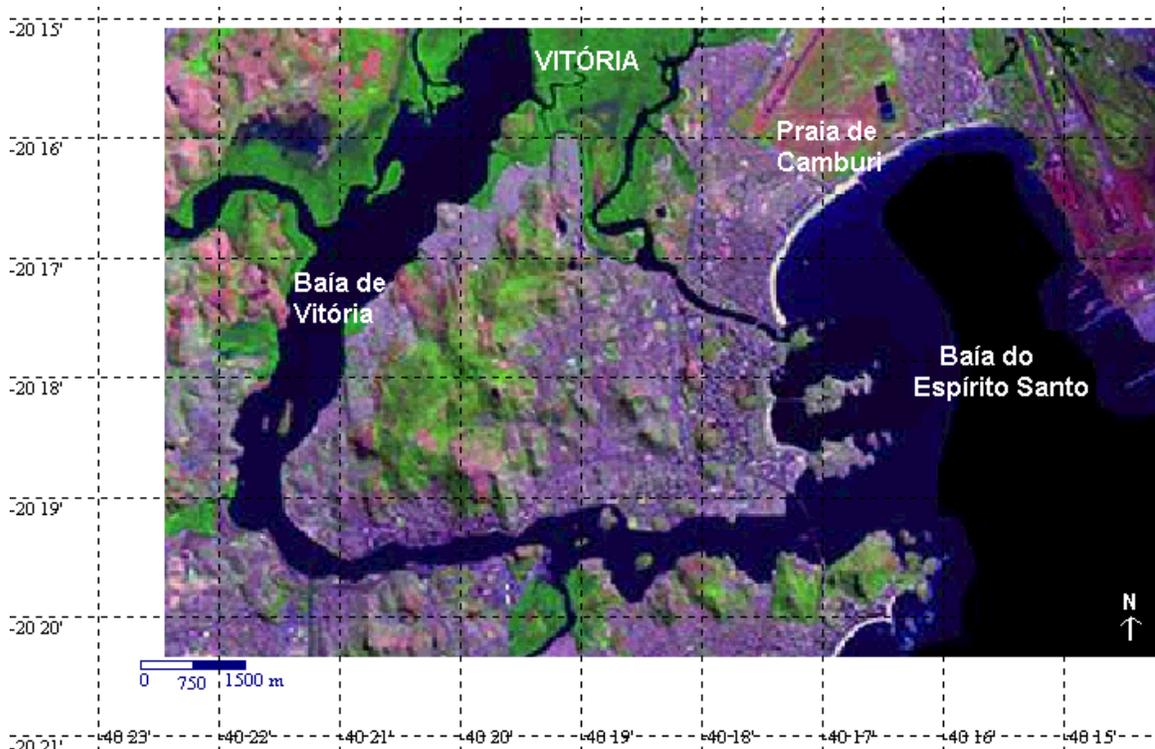


Figura 1 - Imagem de satélite da área de estudo: praia de Camburi, adjacente à baía do Espírito Santo, Vitória –ES. Fonte: modificado de Miranda e Coutinho (2004).

Dessa forma, a região está enquadrada no setor do litoral onde, segundo Martin et al. (1996), os afloramentos do cristalino alcançam a linha de costa com desenvolvimento variável de depósitos quaternários. Oliveira (1995) destaca que a rugosidade da costa desenvolve diferentes graus de exposição à entrada de ondas.

## **2.2 Aspectos climáticos e oceanográficos**

### **2.2.1 Clima**

O clima da área de estudo é classificado como pseudo-equatorial, W da classificação de Köppen (1948, apud MARTIN et al. 1993), isto é, clima quente e úmido no qual a maior porcentagem das chuvas cai na primavera-verão (outono a março) e com estações secas no outono-inverno (abril a setembro), porém, podendo ser perturbadas por precipitações frontais de descarga polar.

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, e se verificam após uma passagem de frente fria de origem subpolar (NIMER, 1989).

### **2.2.2 Sistemas Atmosféricos e regime de ventos**

A atmosfera se movimenta constantemente, sendo esse movimento a soma de dois principais componentes: movimento em relação à superfície da Terra, isto é, o vento, e movimento em conjunto com a Terra, ao girar em torno do seu eixo, sendo que este último exerce importantes efeitos sobre a direção dos ventos, em relação à Terra (AYOADE, 1988).

A circulação geral da atmosfera (circulação primária) foi descrita por Barry e Chorley (1976 apud AYOADE, 1988) como sendo os padrões em larga escala, ou globais, de vento e pressão que se mantêm ao longo do ano ou se repetem sazonalmente e, determina o padrão de climas do mundo.

Dentro da circulação geral estão os sistemas circulatórios secundários, tais como as depressões e os anticiclones das latitudes médias e as várias perturbações tropicais, e são, comparativamente à circulação geral, de existência relativamente breve e se movem muito rapidamente (AYOADE, 1988).

Os sistemas de circulação terciária consistem principalmente de sistemas de ventos locais, tais como as brisas terrestres e marítimas e as ondas de sotavento, sendo amplamente controlados por fatores locais, e seus períodos de existência são consideravelmente mais curtos do que os dos sistemas secundários de circulação (AYOADE, 1988).

A localização geográfica da praia de Camburi, no Estado do Espírito Santo, permite que ela seja submetida, segundo Monteiro (1949), a quatro principais sistemas atmosféricos e suas respectivas correntes:

- O Sistema Tropical Atlântico (Ta), proveniente do anticiclone semifixo do Atlântico Sul. Atua de forma constante o ano inteiro, tendendo à instabilidade no verão, favorecendo chuvas intensas e prolongadas. A Região Sudeste é freqüentemente atravessada pela mTa através de correntes de nordeste (NE) e seguidas pelas correntes de leste (E);
- O Sistema Polar Atlântico (Pa). Possui atividade mais pronunciada no inverno, sendo auxiliado pela orientação N-S dos Andes, bem como pelo Planalto Central. A Pa é sentida no Sudeste, com a presença dos ventos sul (S) e sudeste (SE) e temperaturas mais baixas;
- O Sistema Equatorial Continental (Ec), que se origina na Amazônia e é considerado como uma célula de divergência dos Alísios. Caracteriza-se por ser quente e de elevada umidade, decorrente da área sobre a qual se forma. Durante o verão, atraída pelos sistemas depressionários – térmicos e dinâmicos – do interior do continente, tende a avançar do noroeste (NW) ora para sudeste (SE) ora para (sul-sudeste) SSE, de acordo com a posição da Frente Polar Atlântica;
- O Sistema Tropical Continental (Tc), de ocorrência pouco freqüente. Tem uma participação complementar. Tanto o Tc como o Ec são responsáveis pelas correntes de noroeste (NW) e oeste (W).

Dessa forma, durante o todo o ano, freqüentemente sopram na região ventos de Leste (E) a Nordeste (NE), oriundos das altas subtropicais, que podem ser cessados com a chegada de sistemas de correntes perturbadas de Sul, Oeste e Leste: os primeiros são representados pela invasão de anticiclone polar, com ventos de Sul (S) a Sudeste (SE); os segundos decorrem de meados da primavera a meados de outono, com a invasão de ventos de Oeste (W) a Noroeste (NW), trazidos por linhas de instabilidade tropicais e, os últimos, mais freqüentes no inverno e outono, são devido as ondas de Leste, que provocam ventos de Leste (E) (NIMER, 1989).

Já Sarmiento (1983, apud PAIVA, 1999) caracteriza a resultante desses sistemas atmosféricos de uma forma mais abrangente, com o regime de ventos sendo provenientes de Nordeste (NE), no período que vai de agosto a maio, com velocidade média oscilando entre 4,6 a 5 m/s, associados aos ventos alísios, que sopram durante a maior parte do ano, provenientes do Oceano Atlântico em função das massas aquecidas Tropical Atlântica e Equatorial. Já no período que vai de abril a julho a direção do vento predominante é de Sudeste (SE), com

velocidade média entre 4,1 a 4,5 m/s relacionados às frentes frias que chegam periodicamente à costa do Estado devido a Massa Polar Atlântica (Pa).

### **2.2.3 Marés meteorológicas**

A porção sul da costa sul-americana do Oceano Atlântico freqüentemente sofre a influência de sistemas meteorológicos de escala sinóptica e de mesoescala, que podem induzir perturbações significativas no oceano (CLIMANÁLISE, 1986). Estes distúrbios ocorrem basicamente em duas formas: a ocorrência de variações no nível médio do mar (maré meteorológica) e a geração de ondas de superfície (ressacas).

A definição de maré meteorológica é a diferença entre a maré observada e aquela prevista pela Tábua de Marés (PUGH, 1987 apud MARONE e CAMARGO, 1994). É um fenômeno que ocorre com certa freqüência e possui grande importância devido à sua influência sobre a navegação, pesca, processos de erosão costeira, entre outros. As causas desse fenômeno são, principalmente, as variações da pressão atmosférica e a troca de momento linear entre o vento e a água, causando assim níveis mais baixos ou mais altos que os previstos na Tábua. Seu efeito é mais pronunciado em regiões de enseadas (RIGO, 2002), como a praia de Camburi.

### **2.2.4 Ondas**

Dados sobre clima de ondas para o litoral brasileiro são escassos e limitados aos levantados nas proximidades de portos por ocasião de suas construções (HOMSI, 1978, apud ALBINO et al., 2001). Segundo Bandeira et al. (1975 apud ALBINO et al., 2001), o padrão dos ventos gera ondas procedentes de dois quadrantes principais NE-E e SE-E, com predominância do primeiro.

Na área de estudo, os dados obtidos pelo INPH (Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias), entre março de 79 a setembro de 80, nas proximidades do porto de Tubarão, Vitória, foram utilizados pela RAM Engenharia (1994, apud ALBINO, 1999) para a determinação do clima de ondas, conforme figura 2.

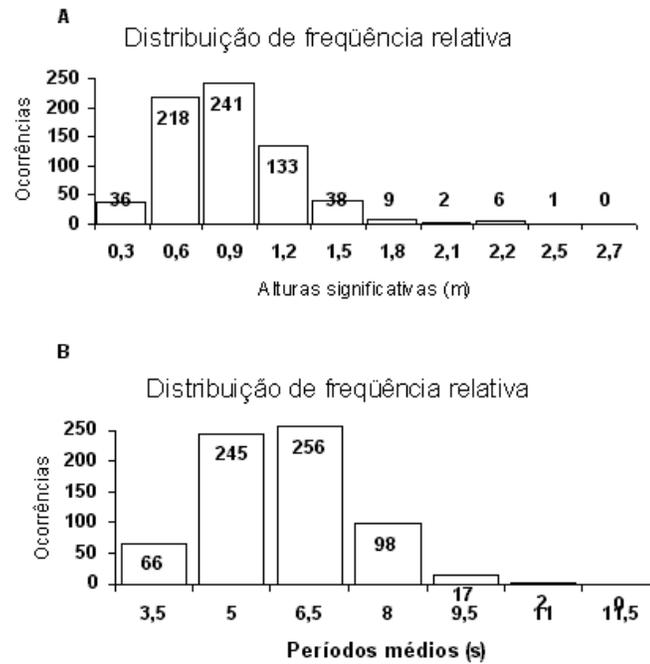


Figura 2 - (A) Distribuição das freqüências das alturas de ondas significativas nas proximidades do porto de Tubarão, Vitória. (B) Distribuição das freqüências dos períodos nas proximidades do porto de Tubarão, Vitória, ES. As maiores freqüências de altura de ondas foram de 0,6 e 0,9 m e do período de 5 a 6,5 s. Fonte: Albino (1999).

A partir de simulações do padrão de entrada de ondas na Baía do Espírito Santo, Albino et al. (2001) observaram que, por efeito de refração, as ondas sofrem a dissipação dentro da referida baía aproximadamente entre as isóbatas de 25 e 30 m (Figura 3) e chegam à praia de Camburi provenientes de três direções, basicamente: nordeste (NE), leste-sudeste (ESE) e sul-sudeste (SSE).

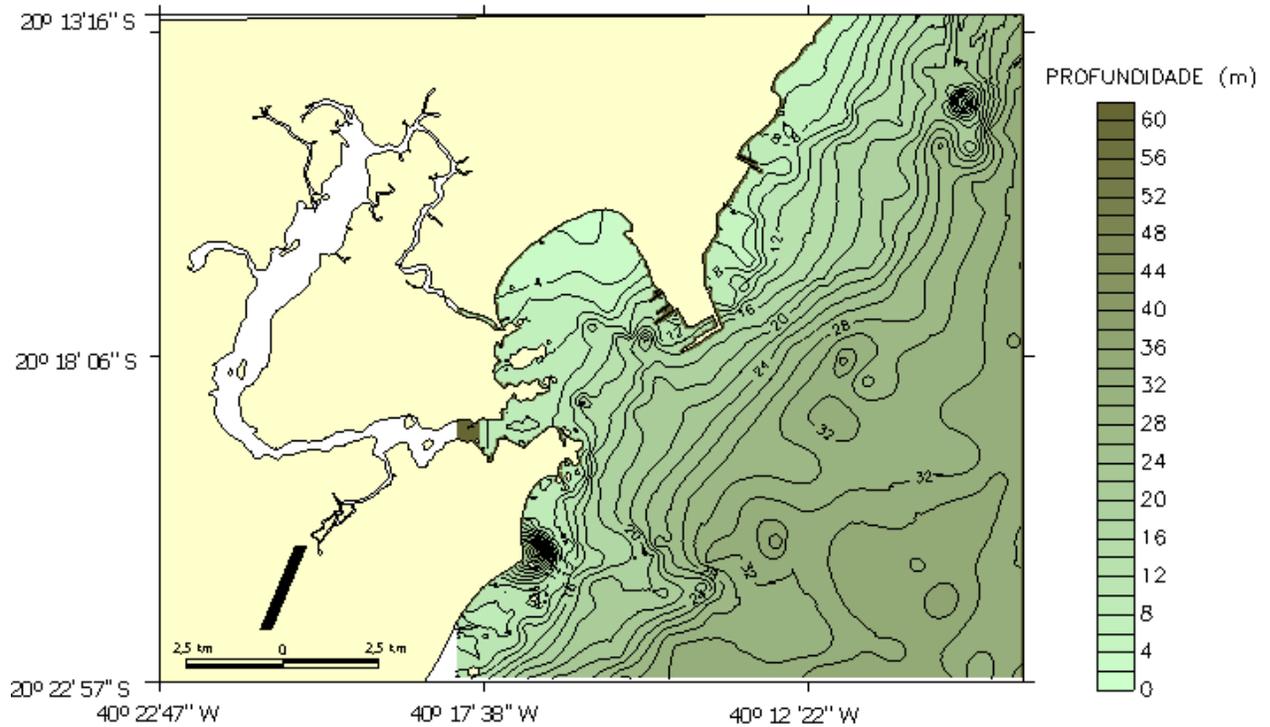


Figura 3 - Mapa batimétrico da Baía do Espírito Santo. Fonte: Albino et al. (2001).

As ondas provenientes de NE ( $45^\circ$  a partir do N,  $0^\circ$ ) chegam à costa com alturas variando entre 1,2 e 0,9 m, menores que as alturas das águas intermediárias e profundas.

A partir do porto de Tubarão e na entrada da Baía do Espírito Santo, a maior dissipação e o efeito de refração das ondas são registrados. A Ponta de Tubarão protege a baía contra as ondas incidentes de NE desenvolvendo uma área com ondas inferiores a 0,3 m e, é ainda responsável pela difração das ondas que passam de NE para SE e terminando praticamente incidente de S, dentro da baía, próximo à linha de costa (Figura 4) (Albino et al., 2001). Margeando a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), sob efeito do sombreamento, a zona submersa e a praia apresentam-se sem ondas (ALBINO et al., 2001).

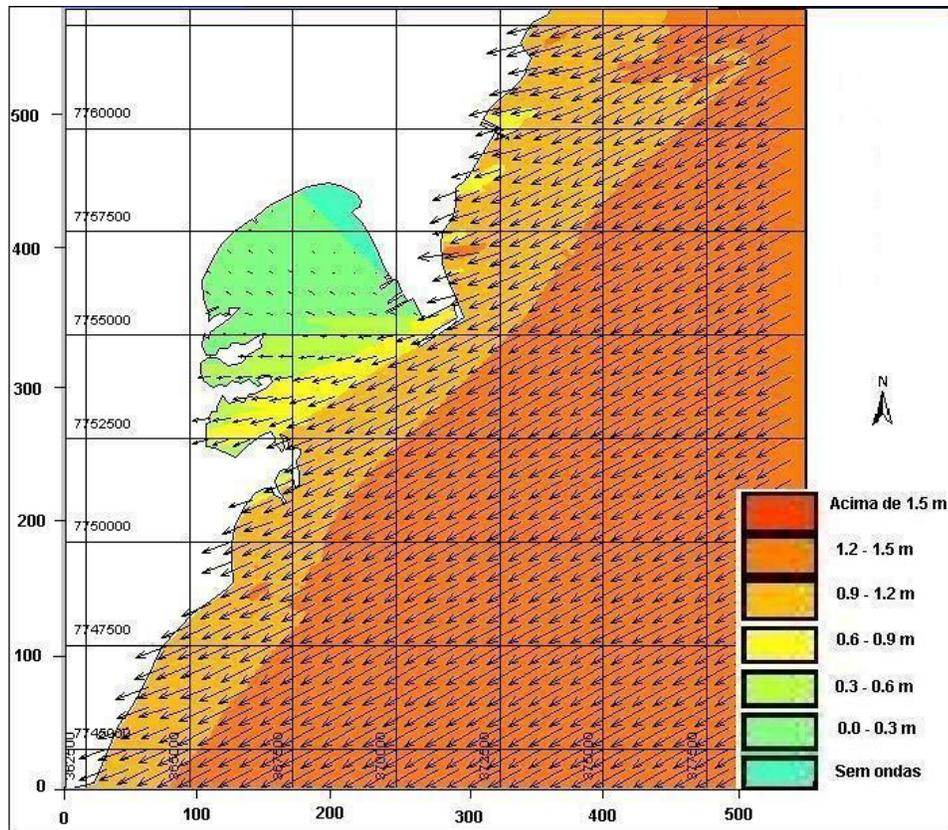


Figura 4 - Padrão de chegada das ondas de NE (45° a partir do N, 0°) na Baía do Espírito Santo, onde as setas indicam o sentido e a direção do trem de ondas e as cores indicam a altura das ondas. Fonte: modificado de Albino et al. (2001).

As ondas provenientes de ESE (105° a partir do N 0°) são ondas desenvolvidas a partir da passagem de frentes frias e apresentam-se mais altas, atingindo a praia de Camburi com alturas entre 0,4 e 1,0 m, devido a Baía do Espírito Santo ter a entrada voltada para SE, sofrendo menor dissipação dentro da referida baía (Figura 5). A variação de altura ao longo da praia de Camburi deve-se a presença da Ilha do Socó, que causa a difração e o sombreamento entre a ilha e a praia desenvolvendo uma porção de menor energia e, à proximidade da porção adjacente a CVRD, onde, mesmo sobre a atuação destas ondas a dissipação é intensa (ALBINO et al., 2001).

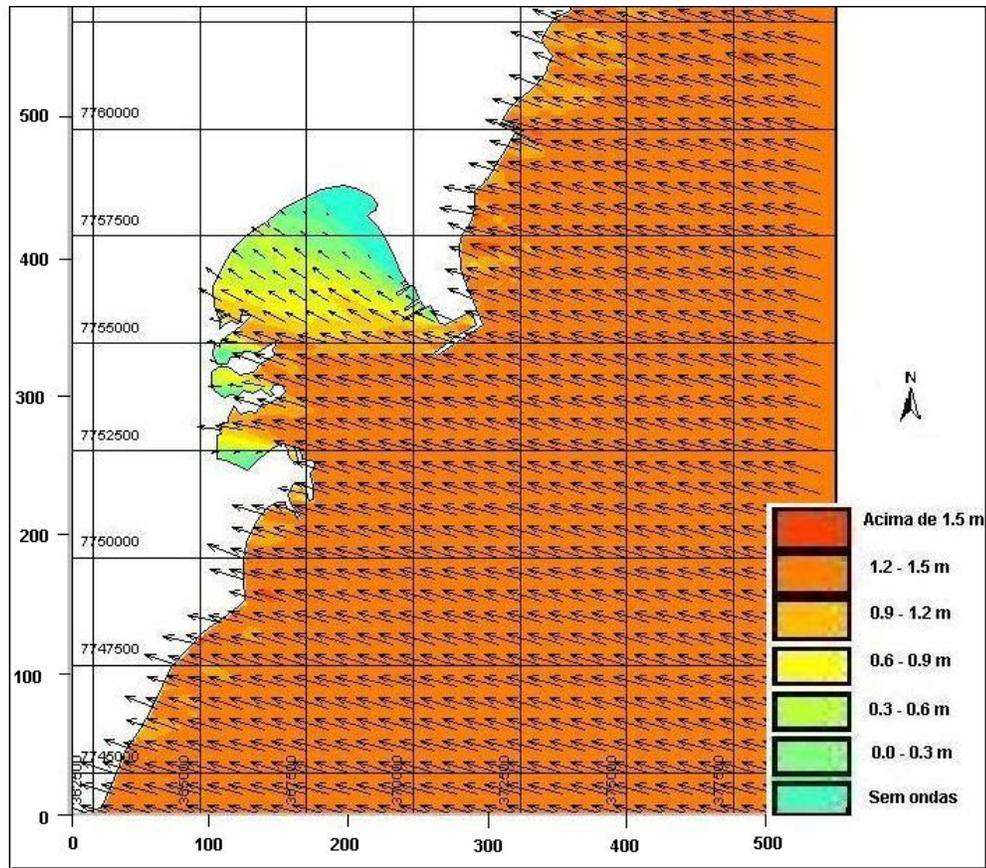


Figura 5 - Padrão de chegada das ondas de ESE ( $105^\circ$  a partir do N,  $0^\circ$ ) na Baía do Espírito Santo, onde as setas indicam o sentido e a direção do trem de ondas e as cores indicam a altura das ondas. Fonte: modificado de Albino et al. (2001).

As ondas de SSE ( $170^\circ$  a partir de N  $0^\circ$ ) são desenvolvidas por frentes frias intensas e desta forma com altos períodos e alturas. De maneira geral o padrão assemelha-se ao anterior, com ondas provenientes do quadrante E- SE.

Na baía do Espírito Santo há a dissipação e difração das ondas em torno das ilhas do Frade e Boi e da Ponta de Tubarão e estas alcançam a praia com as alturas entre 0,2 e 0,6 m e com  $90^\circ$  em relação à linha de costa, conforme a figura 6 (ALBINO et al., 2001).

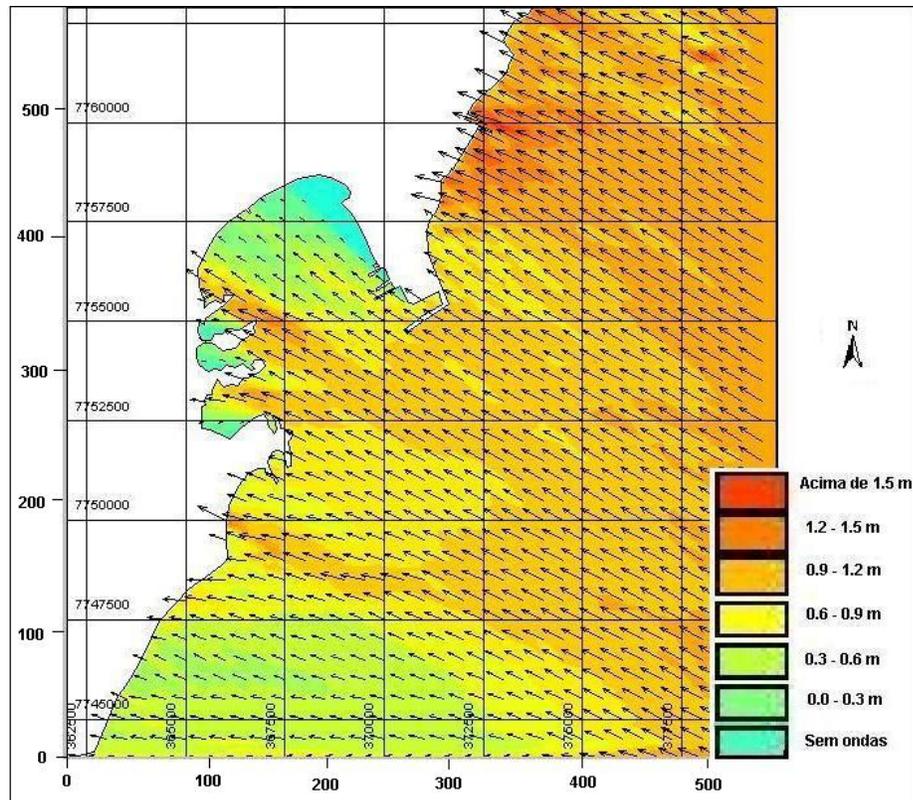


Figura 6 - Padrão de chegada das ondas de SSE (170° a partir do N, 0°) na Baía do Espírito Santo, onde as setas indicam o sentido e a direção do trem de ondas e as cores indicam a altura das ondas. Fonte: modificado de Albino et al. (2001).

### 2.2.5 Marés

A amplitude de maré na área de estudo varia de 1,40 a 1,50 m (Diretoria de Hidrografia e Navegação –DHN, 2004), característica de litoral submetido a regime de micromaré (< 2m).

### 2.3 Histórico do uso e ocupação e aspectos morfodinâmicos da praia

A instalação do complexo portuário de Tubarão/Praia Mole, em 1966, na entrada da Baía do Espírito Santo e as freqüentes dragagens afetaram significativamente o regime de ondas da Baía do Espírito Santo (MELO e GONZALEZ, 1995 apud ALBINO et al., 2001), provocando alterações dos processos hidrodinâmicos na praia. Essas alterações ocasionaram a difração

das ondas vindas de Nordeste, que juntamente com as ondas de sudeste, difratadas ao sul pela Ponta do Fato (morro do Colégio Sagrado Coração de Maria), resultaram em uma ortogonal de onda que atinge diretamente a praia, erodindo-a e causando problemas ao calçadão de Camburi. Estes problemas se agravaram ao longo do tempo (GAZETA, 1993 apud ALBINO et al., 2001) e culminaram na construção do 3º espigão transversal e no recente engordamento da faixa de areia da praia, em 1999, com areias retiradas na zona submersa adjacente (ALBINO e OLIVEIRA, 2000).

Estudos recentes sobre a morfodinâmica da praia indicam a existência de 3 principais setores ao longo da praia de Camburi, com características morfodinâmicas e tipologia praial distintas (ALBINO et al., 2005) (Tabela 1).

Tabela 1 - Informações a respeito da morfodinâmica e tipologia da praia de Camburi.

<b>Setor</b>	<b>Localização</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Características morfodinâmicas</b>
Setor 1	Do píer de lemanjá até aproximadamente 1000m de praia (em frente ao clube dos Oficiais)	Praia intermediária	- Declividade moderada a alta da antepraia, sedimentos grossos, ondas do tipo mergulhante; - Atuação da deriva litorânea.
Setor 2	A partir desses 1000m até a barlar do 3º espigão	Praia intermediária	- Declividade alta a moderada da antepraia, ondas do tipo ascendente e mergulhante e sedimentos médios; - Presença de cúspides (Figura 7) e desenvolvimento de correntes de retorno.
Setor 3	Do 3º espigão até o final da praia, próximo a Tubarão	Praia dissipativa	- Antepraia com moderada a baixa declividade, com arrebenção de onda deslizante, areias finas; - Grande estabilidade da praia.

Fonte: modificado de Albino et al. (2005).

Apesar de todas as intervenções que afetaram o regime de ondas da Baía do Espírito Santo e, conseqüentemente, modificaram a hidrodinâmica da praia de Camburi, além da construção dos espigões e engordamento da faixa de areia, as cúspides, objeto de estudo desta monografia, se mantiveram na praia de Camburi até os dias atuais (Figura 7).



Figura 7 – Em A, foto da década de 70 da praia de Camburi; Em B, foto atual da praia. Em ambas observa-se a presença das cúspides. Foto: modificado de CopyExpress (2004).

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Interação oceano-atmosfera

Existe uma fronteira comum entre os sistemas atmosfera e oceano que envolve troca de energia e matéria. Evidências óbvias da interação entre esses dois sistemas são as ondas gravitacionais: o vento, soprando em rajadas sobre o oceano, exerce variação de pressão provocando em resposta, oscilação vertical na superfície do mar, que se torna rugosa. Esse vento passa então, a empurrar a oscilação, ao mesmo tempo em que cria depressão por turbulência, a sotavento da mesma. O efeito combinado molda a configuração das ondulações, caracterizada por sucessão de cristas e calhas, denominadas de ondas de gravidade. Essas ondas, cuja altura, velocidade e período dependem diretamente da intensidade e duração do vento atuante, mantêm sua trajetória mesmo fora da área de ação do vento, passando a ser denominadas de marulho (*swell*) (MUEHE, 2001).

A onda se caracteriza por apresentar parâmetros como altura (H), amplitude (a), comprimento (L) e período (T), conforme figura 8.

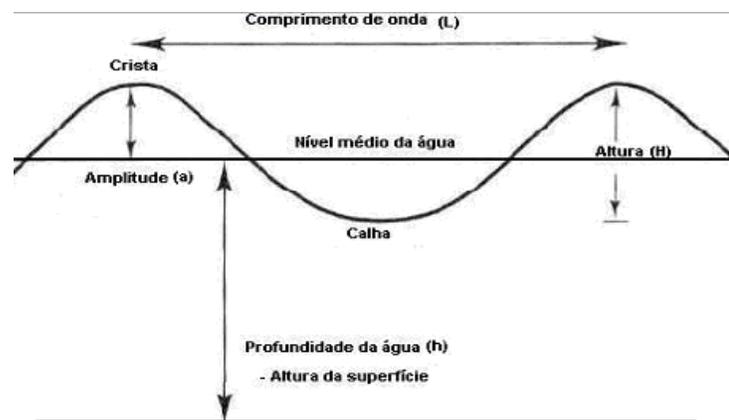


Figura 8 - Parâmetros de uma onda: a altura (H) é a distância vertical do topo da crista até o fundo da calha; a amplitude (a) é igual à metade da altura da onda e o comprimento (L) é a distância entre duas cristas sucessivas ou duas cavas sucessivas. O período (T) é o tempo requerido para que duas cristas ou duas calhas sucessivas passem um ponto no espaço. Fonte: modificado de Carter (1993).

Outros parâmetros das ondas são a esbeltez (relação entre a altura e o comprimento,  $H/L$ ) e a velocidade da onda ou celeridade (C), que é a velocidade de deslocamento, dada pela relação  $L/T$ .

Quando a onda atinge águas rasas, ela sofre mudanças na altura (H), comprimento (L), velocidade (C) e mantém o mesmo período (T), controlada pela profundidade da lâmina d'água

(h), passando a sentir o fundo quando a profundidade (h) é igual ou menor do que a metade do seu comprimento ( $L_o \leq 0.5$ ) (KOMAR, 1976 apud MUEHE, 2001). Para diferenciar parâmetros de ondas de águas profundas, de águas rasas e da zona de arrebentação é adicionada uma letra ao símbolo do parâmetro, como  $H_o$ ,  $H_s$  e  $H_b$ , respectivamente.

À medida que a onda se aproxima do litoral, a diminuição da profundidade afeta a geometria da mesma, que se torna mais alta e mais curta e, a esbeltez aumenta até que a onda arrebente, o que ocorre quando a relação entre a profundidade da água e a altura da onda ( $H_b/h_b$ ) é aproximadamente igual a 0.75-1.2, ou seja, quando a profundidade da água é mais ou menos igual à altura da onda (MUEHE, 2001).

Galvin (1968, apud HOEFEL, 1998) classificou a arrebentação das ondas incidentes em quatro tipos, considerando a declividade da praia, a altura e o comprimento das ondas:

- **Progressiva** ou **deslizante** (*spilling*), ocorre em praias de baixa declividade, nas quais a onda gradualmente empina-se para então deslizar pelo perfil, dissipando sua energia através da larga pista de surfe;
- **Mergulhante** (*plunging*), ocorre em praias de declividade moderada a alta. A onda empina-se abruptamente ao aproximar-se da costa e quebra violentamente formando um tubo, dissipando sua energia sobre uma pequena porção do perfil, através de um vórtice de alta turbulência;
- **Ascendente** (*colapsing*), ocorre em praias de declividade tão alta que a onda não chega a quebrar propriamente, ascendendo sobre a face praial e interagindo com o refluxo das ondas anteriores;
- **Frontal** (*surging*), ocorre também em praias de abrupta declividade e é considerado um tipo intermediário entre a mergulhante e a ascendente.

A capacidade de uma onda realizar trabalho, como mobilizar sedimentos, influenciando, dessa forma, a dinâmica praial, depende de sua energia, que é dada pela equação  $E = 1/8 \rho \cdot g \cdot H_b^2$ , onde  $\rho$  é a densidade da água ( $\approx 1,020$ ),  $g$  é a aceleração da gravidade ( $= 9,8 \text{ m/s}^2$ ) e  $H_b$  é a altura da onda na arrebentação. Percebe-se que a altura da onda é a única variável na equação, sendo assim, a energia de uma onda se dará em função da sua altura na arrebentação (MUEHE, 2001).

A onda muda o sentido de propagação e tende a se tornar paralela à direção das isóbatas (linhas de mesma profundidade) à medida que se aproxima da costa e é afetada pela topografia do fundo, perdendo velocidade. A esse fenômeno dá-se o nome de refração, sendo o

responsável pelo alinhamento das cristas tendendo a ser paralelo à praia, independente da direção de aproximação das ondas nas águas mais profundas (SUGUIO, 1992).

Conhecida a batimetria é possível traçar linhas perpendiculares (ortogonais) à direção das cristas. Como entre duas ortogonais a quantidade de energia se mantém razoavelmente constante, a aproximação das mesmas resulta em aumento de altura da onda e em diminuição, no caso de afastamento, sendo essa uma das principais razões pela distribuição desigual das alturas de onda na arrebentação e pela ocorrência, na praia, de erosão localizada devido à convergência de ortogonais (MUEHE, 2001).

A difração é o fenômeno de transmissão lateral de energia de uma onda, ao longo de sua crista. Este fenômeno se manifesta quando há propagação de ondas em um setor restrito, ou quando um trem de ondas é interceptado por um obstáculo, como um quebra-mar ou uma ilha (SUGUIO, 1992).

O fenômeno de reflexão ocorre, em praias, quando há presença de obstáculos como os molhes, fazendo com que as ondas incidentes sejam refletidas e produzam interferência nas procedentes, resultando freqüentemente em mares “escarpados” e “picados” (RIGO, 2002).

### 3.1.1 Ondas secundárias

Ondas secundárias são ondas geradas a partir do movimento e energia das ondas gravitacionais. Serão apresentadas as mais relevantes para a dinâmica praias: as ondas de borda (*edge waves*), ondas estacionárias (*standing waves*) e as ondas intragravitacionais (*infragravity waves*).

A energia da onda refletida pela face da praia pode ser reiterada ao mar ou pode ficar aprisionada próxima à costa (*inshore*), sob a forma de ondas estacionárias (*standing waves*). Devido ao empilhamento de águas, essas ondas estacionárias começam a ganhar movimento e assumem a forma das ondas de borda, paralelas ao longo da costa e responsáveis pela maioria das topografias rítmicas, as cúspides.

Ondas de borda (*edge waves*) são ondas litorâneas periódicas de gravidade que podem ser estimuladas por ondas geradas por ventos que colidem na praia (INMAM e GUZA, 1982). Segundo Brown e McLachlan (1990, apud CARTER, 1993), são ondas que estão presentes ao longo da zona de surfe (*surf zone*) (Figura 9).

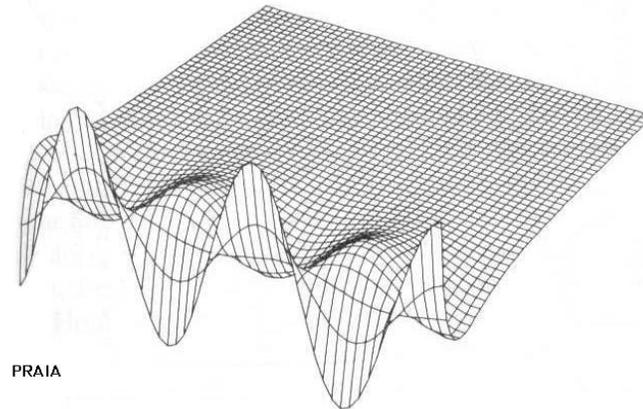


Figura 9 - Imagem tridimensional das ondas de borda (*edge waves*) na zona de surfe. Fonte: modificado de Carter (1993).

Segundo Wright et al. (1979), uma vez iniciadas, as ondas de borda podem se desenvolver e tornarem-se ressonantes, extraindo energia das ondas incidentes. Existem dois tipos: ondas de borda subharmônicas (*subharmonic edge waves*) cujo  $T_e = 2T$  e ondas de borda intragravitacionais (*infragravity edge waves*) cujo  $T_e = 30 - 150s$ , onde  $T_e$  é o período das ondas de borda e  $T$  é o período das ondas incidentes. As do primeiro tipo (ondas de borda subharmônicas) estão relacionadas com as ondas gravitacionais incidentes (WRIGHT et al., 1979) e, segundo Inmam e Guza (1982), frequentemente controlam o comprimento de onda longitudinal das cúspides; já as ondas de borda intragravitacionais estão relacionadas com as ondas intragravitacionais.

As ondas intragravitacionais (*infragravity waves*) surgem a partir da interação ou interferência entre os trens de ondas que atingem a costa ao mesmo tempo. Exemplificando, se dois trens de ondas com períodos de 7s e 10s se interagirem produzirão uma onda intragravitacional com período de 70s (BROWN e MCLACHLAN, 1990, apud CARTER, 1993). Em águas rasas isto significa um intervalo de flutuação do nível marinho em torno de 1 a 10 minutos.

### 3.2 Correntes geradas por ondas

Quando as ondas alcançam a costa e quebram sobre a face da praia, geram correntes na antepraia inferior (*nearshore*) que tomam uma variedade de formas, dependendo das ondas e das condições da praia (BASCO, 1982, 1983; KOMAR e OLTMAN-SHAY, 1990 apud KOMAR, 1998). Há dois tipos de sistemas de correntes que dominam os movimentos da água nessa

região: (1) sistema de células de circulação consistindo de correntes de retorno e (2) correntes longitudinais geradas pela aproximação oblíqua das ondas na linha de costa.

As do primeiro tipo, as correntes de retorno (*rip currents*), são descritas como um fenômeno de sub-superfície, que é estreito e se move rapidamente, transversalmente à praia (DAVIS, 1985) e são responsáveis por cerca de 80% dos afogamentos ocorridos em praias. Essas correntes são formadas pelas ondas e pela gravidade; quando as ondas chegam na costa, empurram a água para a face da praia, e a gravidade faz com que essa água retorne, porém, ao retornar, encontra resistência de outras ondas que estão chegando. Então a água procura um caminho de menor resistência, que poderá ser próximo a um molhe, a uma pedra ou no meio da praia, onde há uma depressão na areia. Nesse caso, a água retornará apenas por um caminho, o canal de retorno, que é um canal escavado pelo fluxo dessa corrente de retorno, rumo ao mar aberto (HOEFEL, 1998).

As correntes que se convergem para a sua formação são chamadas de correntes alimentadoras (*feeder currents*) e suprem o pescoço (*neck*) do sistema das correntes de retorno. Além do canal de retorno (*rip channel*), através da zona de arrebenção (*breaker zone*), a corrente de retorno se dispersa em uma cabeça (*rip head*), (DAVIS, 1985), (Figura 10).

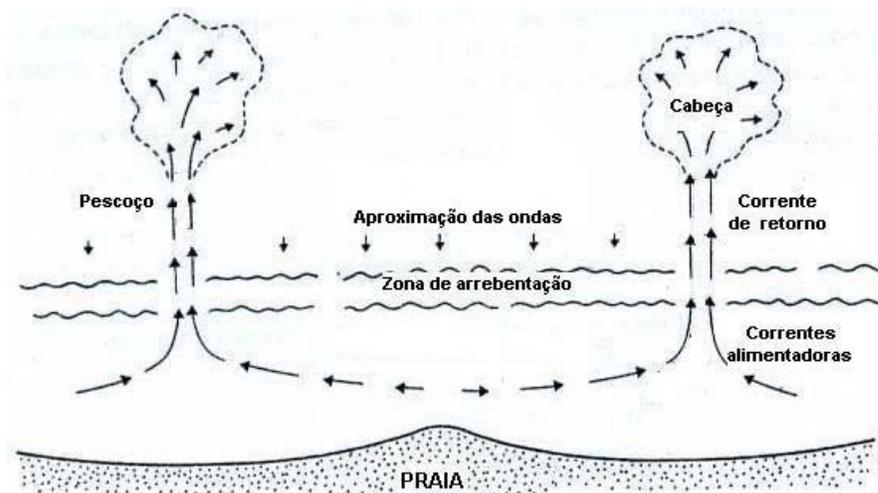


Figura 10 - Sistema das correntes de retorno. Fonte: modificado de Komar, 1998.

A formação dessas correntes está associada, principalmente ao estado morfodinâmico intermediário com barra transversal (WRIGHT e SHORT, 1983); as barras transversais, em forma de cúspide, se juntam à face da praia e a morfologia resultante é uma alternância lateral entre bancos transversais à praia e embaixamentos mais profundos com fortes correntes de retorno que, nesse estágio, atingem seu maior desenvolvimento (MUEHE, 2001).

Condições de alta energia de ondas produzem poucas e largamente espaçadas correntes de retorno, diferente das condições de baixa energia. O melhor desenvolvimento e definição de sistemas de correntes de retorno parece ocorrer durante moderadas condições de altura de ondas. Sobre condições de tempestade (*storm conditions*), causadas pela passagem de sistemas de baixa pressão, as correntes de retorno ficam sem definição e mascaradas pela forte elevação das ondas e pelas ligeiras correntes longitudinais. Os canais de retorno também são indefinidos sobre tais condições (DAVIS, 1985).

Ondas de borda (*edge waves*) têm sido mostradas para desempenhar um papel importante na circulação costeira, particularmente no desenvolvimento e localização das correntes de retorno. A combinação das ondas incidentes e ondas de borda produz uma alternância regular das mais altas e mais baixas arrebentações ao longo da costa, portanto causando um padrão regular e em células de circulação na forma de correntes de retorno (KOMAR, 1976, apud DAVIS, 1985).

Por causa do comprimento de onda das ondas incidentes e ondas estacionárias ter o mesmo período, existem linhas nodais e antinodais ao longo da zona de surfe aonde essas ondas se interceptam. Na linha antinodal há um aumento ou decréscimo na altura da onda dependendo se os dois tipos de onda estão em fase ou  $180^\circ$  fora de fase. Nas linhas nodais a onda de borda não contribui para o sistema; portanto, a verdadeira altura das ondas incidentes pode ser observada (KOMAR, 1976 apud DAVIS, 1985). O resultado é um padrão de circulação regularmente espaçado com as correntes de retorno localizadas em posições antinodais onde ondas são menores (Figura 11).

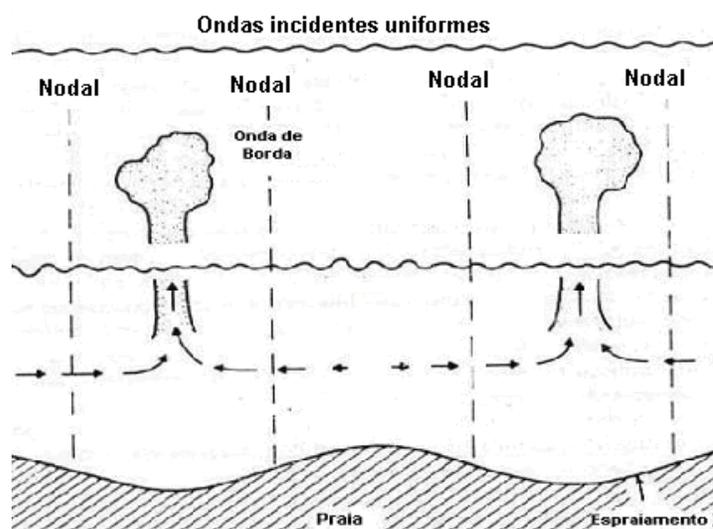


Figura 11 – Vista esquemática da relação entre topografias rítmicas, correntes de retorno e nodal das ondas de borda. Fonte: modificado de Davis (1985).

Em uma mais detalhada investigação, Shepard e Inman (1950 apud DAVIS, 1985) determinaram que a topografia de águas rasas e a configuração da linha de costa desempenham um papel na localização e desenvolvimento das correntes de retorno, influenciando a circulação da corrente de retorno de forma que as cristas das cúspides eram comumente o foco das correntes alimentadoras, com as correntes de retorno se movendo em direção ao mar opostas à crista: linhas de costa sinuosas causam um “meandramento” natural das correntes longitudinais. O desvio das ligeiras correntes longitudinais pelas cristas das cúspides resulta em correntes de retorno (SONU e RUSSEL, 1965; DAVIS e FOX, 1972b apud DAVIS, 1985).

As do segundo tipo, as correntes longitudinais (*longshore current*), são formadas mesmo com o efeito de refração das ondas em função da batimetria do fundo tendendo a tornar a direção das cristas das ondas paralelas à linha de costa, atingindo a praia com um certo ângulo. Este é responsável pela geração de uma corrente ao longo da costa, a corrente longitudinal, com capacidade de transportar sedimentos colocados em suspensão pela arrebentação das ondas.

O transporte desta corrente pode ocorrer na zona de surfe, caso a praia tenha uma, e na zona de espraiamento, pelo movimento de espraiamento e refluxo da onda. Segundo Muehe (2001), a corrente longitudinal é considerada eficiente quando o ângulo de incidência é superior a 5°.

Na dinâmica praial, este elemento é determinante nas modificações topográficas. Com a chegada de ondas oblíquas, o sedimento erodido pelo espraiamento em um trecho da praia é transportado para outro trecho, não sendo levado para a zona submarina próxima adjacente à erosão, pelo transporte *on-offshore*, para posterior retorno. Caso, durante o transporte longitudinal, haja um obstáculo, este será responsável pela retenção do sedimento transportado e conseqüente engordamento do trecho praial, o qual resultará em alterações dinâmicas e sedimentares.

Praias limitadas por afloramentos rochosos mantêm seu equilíbrio morfodinâmico, apesar de variações topográficas, devido à acumulação alternada em cada uma das extremidades, em função das oscilações climáticas sazonais (ALBINO, 1995 apud ALBINO, 1999). A influência da corrente e do transporte longitudinal é acentuada com a chegada de frentes frias, quando os ventos são mais intensos tanto na freqüência quanto na magnitude (ALBINO, 1999), influenciando diretamente as ondas.

### 3.3 Morfodinâmica praial e as cúspides

A terminologia das feições morfológicas do perfil praial está representada na figura 12.

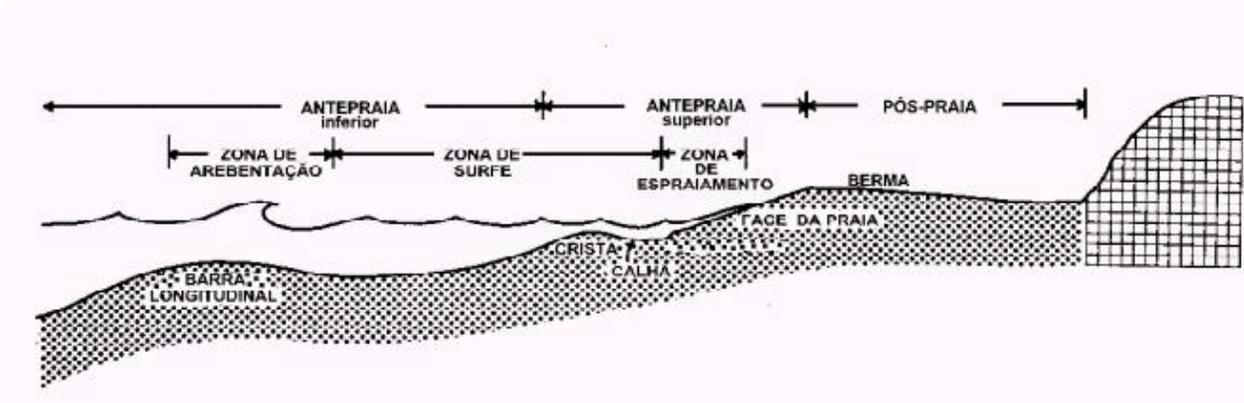


Figura 12 - Subdivisão e terminologia do perfil praial modificado de Davis (1985, apud ALBINO, 1999) e proposto no presente trabalho: antepraia inferior (*nearshore*), antepraia superior (*foreshore*), pós-praia (*backshore*), zona de espraçamento (*swash zone*), zona de surfe (*surf zone*), zona de arrebatção (*breaker zone*), berma (*berm*), face da praia (*beachface*), crista (*ridge*), calha (*runnel*) e barra longitudinal (*longshore bar*). Fonte: Albino (1999).

Os trabalhos de Short (1979;1988; apud MUEHE, 2001) Wright et al. (1982, 1985, apud MUEHE, 2001) e Wright e Short (1983, 1984, apud MUEHE, 2001) destacam a complexidade da dinâmica na zona de surfe. Além das ondas incidentes, de caráter oscilatório, os pesquisadores admitem a existência de ondas de diferentes frequências, de caráter quase-oscilatório (ondas estacionárias e ondas de borda) na definição da morfologia das praias. A interação das ondas incidentes e as de caráter quase-oscilatório com as correntes de retorno (*rip currents*), longitudinais (*longshore currents*), locais, geradas por ventos locais, e correntes de marés (*tidal currents*) desenvolvem um complexo fluxo dando origem a diferentes comportamentos morfodinâmicos (Figura 13).

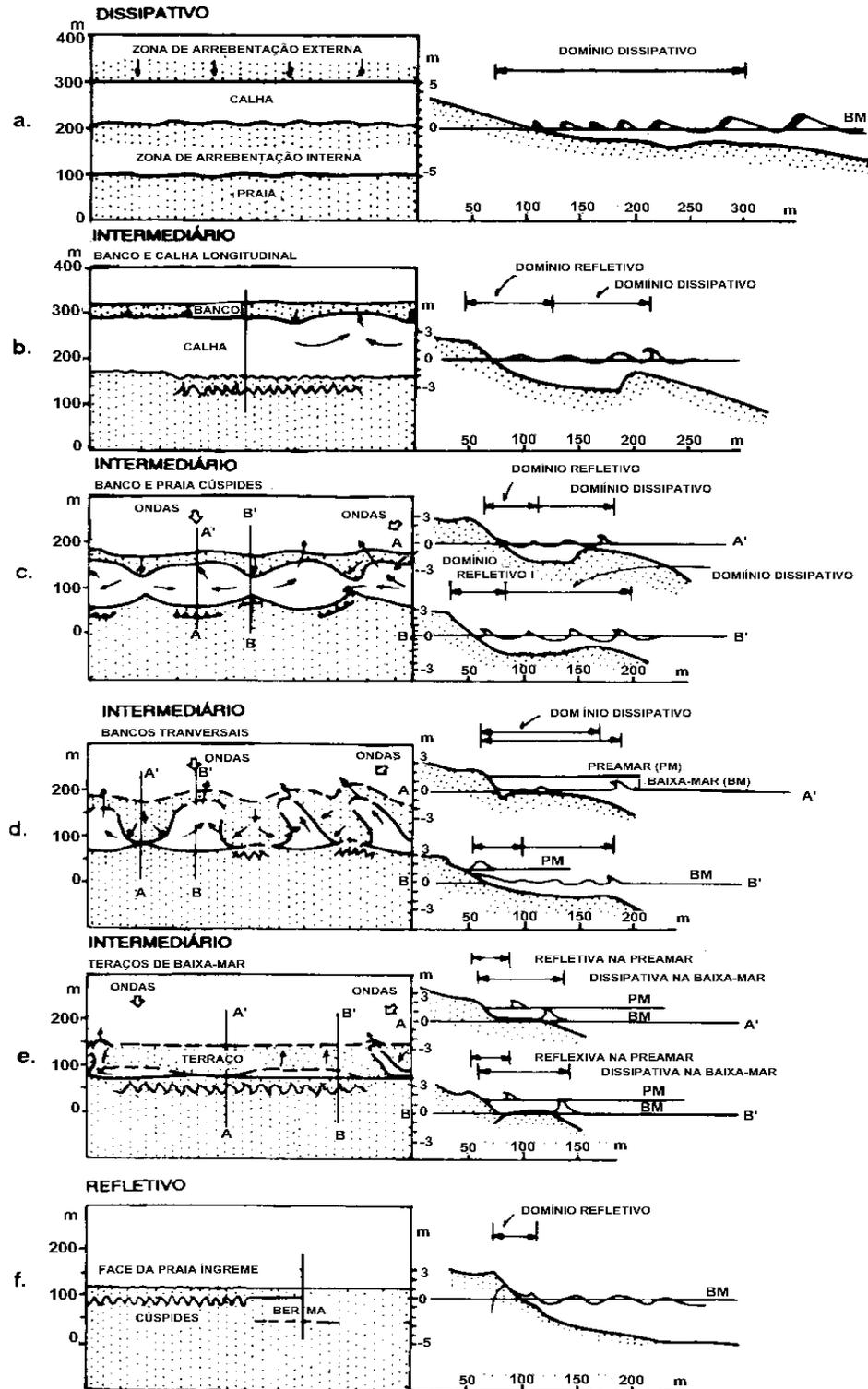


Figura 13 - Estados morfodinâmicos das praias segundo Wright et al. (1979, apud MUEHE, 2001). Observa-se os estados dissipativo, intermediários de banco e calha longitudinal, banco e praia de cúspide, bancos transversais, terraço de baixa-mar e refletivo. Fonte: Muehe (2001).

O estado morfodinâmico dissipativo é representado por praia emersa e zona de surfe de baixa declividade e bem larga, submetida à ação de ondas deslizantes (*spilling*) e com sedimentos finos. Ondas estacionárias e infragravitacionais estão comumente presentes (MUEHE, 2001).

O estado morfodinâmico refletivo é representado por uma praia de alta declividade praticamente sem zona de surfe, submetida a ondas ascendentes, (*surging* ou *collapsing*) sendo constituídas de sedimentos grossos. As ações de ondas incidentes e infragravitacionais são predominantes. Os processos dinâmicos praias são intensificados com a formação de cúspides.

Os quatro estados intermediários exibem simultaneamente características dissipativas e refletivas. Foram reconhecidos por Wright et al. (1979 apud MUEHE, 2001) os estados morfodinâmicos com barra e calha longitudinal (*longshore bar and trough*), com barra e praia rítmicos (*rhythmic bar and beach*), com barra transversal e corrente de retorno (*transverse bar and rip*) e com terraço de baixa-mar (*low tide terrace*). Em conjunto os estados intermediários formam uma seqüência cíclica de transferência do aporte sedimentar da praia para a zona submersa, durante fases de alta energia das ondas e, da zona submersa para a praia durante fases de menor energia das ondas. A dissipação aumenta com o incremento da altura da onda e com a diminuição da declividade do fundo, enquanto que a reflexão aumenta com a maior declividade da zona de surfe, resultado da transferência dos sedimentos da zona submersa para a praia (MUEHE, 2001).

Conforme Muehe (2001), dessas fases praias propostas por Wright et al. (1979), os estados intermediários com banco e calha longitudinais (*longshore bar and trough*) e com banco e praia rítmicos (*rhythmic bar and beach*) podem se desenvolver a partir de um perfil dissipativo numa seqüência acrecional do perfil praias. A face da praia é mais íngreme do que no perfil dissipativo mas, diferente do estado dissipativo, as ondas apresentam duas zonas de arrebentação, uma antes do banco e outra após a calha. A face da praia mais íngreme apresenta, localmente, características refletivas. Ondas de baixa esbeltez ( $H/L$ ) se espraíam na face da praia, ao passo que ondas mais esbeltas sofrem colapso nas proximidades da base da face praias. O desenvolvimento de cúspides praias na porção emersa é freqüente.

O estado com barra transversal e corrente de retorno (*transverse-bar and rip*) se desenvolve preferencialmente, em seqüências acrecionais quando as barras se juntam a face da praia. A morfologia resultante é uma alternância lateral entre bancos transversais à praia em forma de cúspides, com características dissipativas e embaiamentos mais profundos com características refletivas. Correntes de retorno atingem maior desenvolvimento neste estado (MUEHE, 2001).

O estado com terraço de baixa-mar (*low tide terrace*) é caracterizado por uma acumulação plana de areia, no nível de baixa-mar ou um pouco abaixo. Sobre o terraço, por ocasião da baixa-mar, a praia apresenta-se moderadamente dissipativa e durante a preamar apresenta-se refletiva. Correntes de retorno de baixa velocidade podem estar presentes (MUEHE, 2001).

Na maioria dos estágios, podemos observar o desenvolvimento de cúspides. Essas cúspides podem ser geneticamente de dois tipos: aquelas formadas pelo sistema de circulação da antepraia inferior (*nearshore*), chamadas de cúspides da “zona de surfe” (“*surfzone*” *cusps*) ou cúspides gigantes (*giant cusps*) com escalas de centenas de metros e, aquelas formadas sobre a face da praia e berma pelo espraiamento e refluxo, chamadas de cúspides de espraiamento (“*swash*” *cusps*), com escala de poucos metros (INMAN e GUZA, 1982). Ambas mostram uma morfologia similar e são essencialmente características subaéreas da praia, sem nenhum componente submaré (*subtidal*) (KOMAR, 1976 apud DAVIS, 1985).

As cúspides que são o objeto de estudo desta monografia são as cúspides de espraiamento, ou simplesmente cúspides, uma das mais intrigantes estruturas morfológicas observadas em praias. Elas mostram melhor desenvolvimento sobre praias de grãos mais grossos, de pequeno alcance de maré (KOMAR, 1998) e com grande declive, onde as ondas incidentes produzem uma substancial elevação do espraiamento na face da praia. Associadas às correntes de retorno, apresentam maior desenvolvimento em praias de estado morfodinâmico intermediário com barra transversal (WRIGHT e SHORT, 1983).

Alguns autores costumam dar outros nomes as formas das cúspides, porém nesta monografia serão utilizadas as expressões *crista* para a região mais pontiaguda e íngreme da cúspide e *cava* para a depressão, em forma de meia-lua (Figura 14).

O padrão de circulação de espraiamento associado à morfologia da cúspide é nitidamente tridimensional, com o avanço (*uprush*) da onda sendo desviado das cristas da cúspide para dentro das cavas (Figura 14).

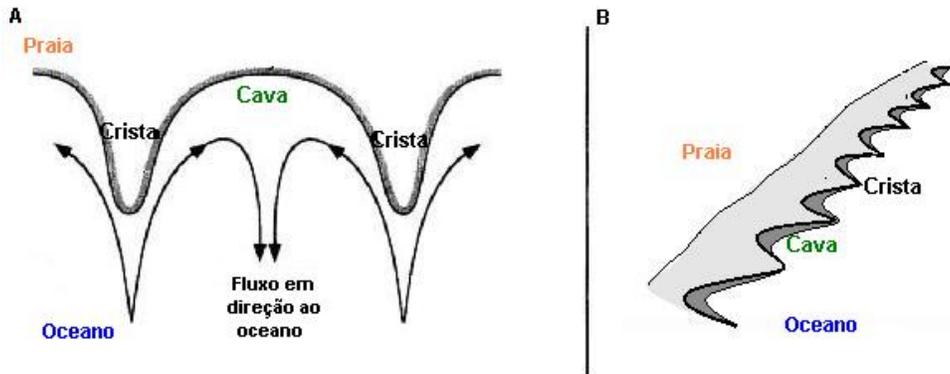


Figura 14 - Desenho esquemático de uma cúspide, em A vista superior, com o padrão de circulação de espraiamento associado à morfologia da cúspide e, em B vista lateral, onde são mostradas as cristas (*Horn*) e as cavas (*embayment*). Fonte: modificado de Holland e Holman (1996).

Tal padrão de circulação é referido como “fluxo divergente da crista” (*horn-divergent flow*), e desempenha um papel chave em manter a morfologia das cúspides (MASSELINK et al., 1997).

O monitoramento morfológico das cúspides indicou que embora como um todo, sejam razoavelmente robustas, pois é difícil destruí-las completamente, entretanto, respondem rapidamente a mudanças das condições de onda e maré (MASSELINK et al., 1997). Marulhos (*swells*) estimulam a construção das cúspides, enquanto ondas gravitacionais obliquamente incidentes, induzidas pelos ventos na costa, tendem a reduzir a proeminência de sua morfologia e/ou modificá-la (MASSELINK, 1996). Isso pode ser corroborado, já que a formação de cúspides é claramente mais favorável quando as ondas aproximam-se normais à praia (JOHNSON, 1919; TIMMERMANS, 1935; LONGUET-HIGGINS e PARKIN, 1962 apud KOMAR, 1998). As marés modulam sua posição transversal em relação à linha de costa: durante a preamar, a extensão transversal das cúspides em relação à linha de costa decresce; durante a baixamar, a sua extensão transversal em relação à linha de costa aumenta (COCO et al., 2004).

A principal questão relativa às cúspides é se elas são formadas por ondas de borda (*edge waves*) ou auto-organização (*self-organization*). Embora significativos progressos tenham sido feitos quanto à sua origem usando modelos numéricos, a contribuição feita por medidas de campo tem sido muito limitada (MASSELINK et al., 1997). O processo de auto-organização sugere que a retroalimentação (*feedback*) entre o movimento de espraiamento e a topografia de praia desempenha um importante papel (MASSELINK et al., 1997).

Por outro lado, inúmeros são os trabalhos que sugerem as ondas de borda (*edge waves*) como principal agente envolvido (GALVIN, 1964; BOWEN e INMAN, 1969; GUZA e BOWEN, 1981, apud INMAM e GUZA, 1982).

Segundo Wright et al. (1979), uma vez iniciadas, as ondas de borda podem se desenvolver e tornarem-se ressonantes, extraindo energia das ondas incidentes. Acredita-se que as ondas de borda não precisam persistir uma vez que a cúspide é iniciada e que, uma vez que a interação onda incidente-borda cause uma leve perturbação na topografia sobre uma praia uniforme, as ondas incidentes podem forçar essas cúspides a crescerem até alcançarem a maturidade e o máximo de esbeltez, que é aproximadamente igual à altura significativa do espraiamento (INMAM e GUZA, 1982).

Pelo menos uma teoria da formação de cúspides requer uma aproximação oblíqua das ondas e interceptação de ondas (EVANS, 1938; OTVOS, 1964 apud KOMAR, 1998). Porém, um transporte substancial de sedimento pelas ondas oblíquas claramente destrói as cúspides, primeiro transformando-as em altamente assimétricas e então, lavando-as inteiramente. Se o transporte não for grande o suficiente, as cúspides podem persistir sob a forma assimétrica. Krumbein (1944 apud KOMAR, 1998) produziu cúspides em laboratório com a aproximação de ondas na praia em um ângulo de 15°; as cúspides migraram devagar praia abaixo, a máxima razão de aproximadamente 30 cm/h. É possível, entretanto, que as cúspides observadas por Krumbein fossem uma outra forma de topografia rítmica, um padrão que comumente migra ao longo da costa, diferente da associada com a célula de circulação e correntes de retorno, a forma clássica de cúspides praias, que é usualmente mais estável na posição (KOMAR, 1998).

Somente uns poucos estudiosos como Kana (1977), Dubois (1978), Short (1978), Takeda e Sunamura (1983), e Antia e Nyong (1986) apud Antia (1989) têm comentado sobre a possível aplicação do conhecimento adquirido através dos estudos das cúspides para o fenômeno da erosão e acreção da praia. Kana (1977, apud ANTIA, 1989) notou que nas cristas das cúspides geralmente ocorre a formação de escarpas praias (*beach scarps*), processo que acelera a erosão, porém os processos de transferência de sedimento durante a formação das cúspides são subordinados principalmente a outros tais como correntes de retorno e correntes longitudinais, com uma capacidade muito maior de transferência de sedimentos.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Levantamento bibliográfico

A primeira etapa deste trabalho consistiu na busca bibliográfica de material referente ao assunto, em periódicos nacionais e internacionais, livros, monografias e *sites* especializados, de forma que permitisse a melhor compreensão dos elementos meteorológicos e oceanográficos e do sistema praial, principalmente, no que diz respeito às cúspides, além da metodologia a ser utilizada em campo.

### 4.2 Determinação da morfologia das cúspides

#### 4.2.1 Caminhamento sobre as cristas das cúspides

O acompanhamento da linha de costa da praia de Camburi foi realizado utilizando o método de caminhamento com GPS adaptado de Marone et al. (2001), cujo levantamento era sobre a linha da vegetação da praia.

Através do recurso *track* do GPS *Garmin 12*, cuja especificação pode ser observada na Tabela 2, os caminhamentos na praia de Camburi foram realizados sobre a crista do berma/cúspides, traçando a presença, a mobilidade e a distância entre as cristas das cúspides.

Foram escolhidas as coordenadas inicial (lado Norte do Píer de Iemanjá) e final (em frente ao Hotel Canto do Sol) do trecho da praia a ser caminhado, num total de 3,5 Km, além de dois pontos de referência na orla de Camburi (**Ref. 1**- Poste de iluminação da praia em frente ao Hotel Canto do Sol/ **Ref. 2**- Poste de iluminação em frente ao *Bike Mania*) para que, durante a sobreposição dos dados no computador, pudesse ser feita a correção da posição dos caminhamentos.

No GPS, eram marcados e armazenados os pontos inicial, final e os de referência antes de cada caminhamento, e a trilha (*track*) era registrada a medida que o mesmo era realizado. Para se marcar os pontos pretendidos, foi necessário um tempo de aquisição dos dados de pelo menos 5 minutos, para evitar o possível erro de posição durante a aquisição dos pontos.

Além disso, em cada campanha de campo, que durava cerca de 1 hora, eram feitas observações visuais nas características das cúspides, que eram anotadas e cujos pontos eram

marcados no GPS ao longo do caminhamento, atentando para a presença de feições e outras características que pudessem contribuir para a interpretação e o entendimento do comportamento das cúspides.

O levantamento foi realizado em 15 campanhas de campo, sendo 10 validadas, já que as outras 5 apresentaram erro de aquisição de dados pelo GPS devido às condições de tempo muito encoberto. Esses caminhamentos, quando transferidos para o computador, se comportaram como linhas retas, sem a presença das cúspides, o que não era coerente com as observações de campo, já que as cúspides estavam sempre presentes na praia.

Os caminhamentos, iniciados em agosto de 2003 e finalizados em dezembro de 2004, foram realizados sempre que possível, com o mesmo intervalo de tempo de um mês para outro e na maré mais baixa, para facilitar a locomoção sobre as cristas das cúspides.

Tabela 2 – Especificações do GPS *Garmin 12*.

Características Físicas	
Estojo:	A prova de água
Tamanho:	14.6 x 5.1 x 3.4 cm
Peso:	Aproximadamente 269 g com pilhas
Média de Temperatura:	-15° a 70° C
Desempenho	
Receptor:	12 canais paralelos, diferencial pronto
Tempo de Aquisição:	Aprox. 15 seg. (quente) Aprox. 45 seg. (frio) Aprox. 5 min. (AutoLocate™ )
Taxa de Atualização:	1/seg., contínuo
Precisão de Posição:	1-5 m com correções DGPS 15 m RMS
Precisão de Velocidade:	0.1 no RMS estável
Dinâmica:	6 g
Alimentação	
Entrada:	4 pilhas AA 1.5V ou 5-8V DC
Consumo de Energia:	1 Watt
Vida Útil das Pilhas	Mais de 12 horas

Fonte: Manual de operação GPS *Garmin 12*.

### **4.3 Transferência de dados para o computador**

Os dados obtidos durante as campanhas de campo foram transferidos para o computador através de um cabo conector próprio do GPS. Um programa de transferência de dados do GPS para o computador, o GPS *TrackMacker*, foi utilizado.

Com a transferência dos caminhamentos para o computador foi possível a determinação das distâncias entre as cristas, ou seja, o espaçamento das cúspides e a sobreposição dos mesmos.

Para a sobreposição dos caminhamentos, foi escolhida uma campanha de campo fixa, e todas as outras eram sobrepostas a ela, tendo como referência os pontos fixos na orla, que eram remarcados a cada caminhamento, evitando assim, o erro de sobreposição.

A sobreposição dos caminhamentos permitiu as análises e interpretação conjuntamente com as informações meteoceanográficas, tendo como resposta a subdivisão da praia em setores com características morfodinâmicas distintas segundo a presença e mobilidade das cúspides.

Um mapa de acompanhamento da linha de costa foi confeccionado com pontos conhecidos da orla de Camburi para facilitar a identificação dos setores. Este mapa foi feito utilizando uma base georreferenciada, obtida através de levantamento geodésico cedida pelo laboratório de Geomática do CEFET-ES. Um programa gráfico apropriado, o *Arcview GIS 3.2*, foi utilizado para a sobreposição da linha do caminhamento sobre a crista do berma/cúspides no mapa.

### **4.4 Levantamento dos dados meteoceanográficos**

Juntamente com os levantamentos de campo foram levantadas as condições meteoceanográficas da região, tais como direção e altura das ondas, direção e intensidade dos ventos, altura da maré e dados meteorológicos via *sites* específicos da internet (CEPTEC-INPE, DHN e INMET) além de dados de pressão de cartas sinóticas.

Todas as informações levantadas foram analisadas conjuntamente ao modelo de refração de ondas na baía do Espírito Santo, desenvolvido por Albino et al. (2001) para a interação com a morfologia apresentada. Outras análises de levantamentos anteriores como Albino et al. (2001) e Albino et al. (2005) relacionadas a correntes sazonais e dados como granulometria e perfil da praia também foram utilizados para a caracterização dos setores.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Condições meteoceanográficas

Os dados a respeito de ventos, ondas, maré, pressão e as observações meteorológicas para a região, obtidos através dos *sítes* do CEPTEC- INPE e DHN estão dispostos na tabela 3.

Tabela 3 - Condições meteoceanográficas para os dias dos levantamentos e dois dias anteriores ao campo. **Negrito:** dias em que ocorreram os caminhamentos; A maré foi considerada baixa quando, no momento do levantamento, estivesse menor do que a média para o Porto de Tubarão (0.82 m), e alta quando o contrário ocorresse; (...) ausência de dados.

Campanhas		Pressão local (hpa)	Ventos		Ondas		Observações meteorológicas	Maré (hora do caminhamento)
Meses	Dias		Direção	Intensidade (m/s)	Direção	Altura (m)		
Ago/03	12	Alta: 1024	S	...	S	1.5	Tempo nublado a parcialmente nublado com pancadas de chuva. Temperatura em declínio.	
	13	Alta: 1024	SE	...	SSE	1.0	Tempo nublado a parcialmente nublado com névoa úmida. Temperatura estável.	
	<b>14</b>	<b>Alta: 1024</b>	<b>S</b>	...	<b>SSE</b>	<b>1.0</b>	<b>Tempo parcialmente nublado a claro. Temperatura estável.</b>	<b>Baixa 0.43m</b>
Set/03	16	Alta: 1020	NE	...	SSE	...	Tempo nublado com chuvas isoladas. Temperatura em ligeiro declínio.	
	17	Alta: 1020	NE-S	4.9	SSE	2.4	Tempo claro passando a nublado com possibilidade de chuva em áreas isoladas. Temperatura em ligeiro declínio.	
	<b>18</b>	<b>Alta: 1020</b>	<b>S</b>	<b>5.0</b>	<b>SSE</b>	<b>2.4</b>	<b>Tempo nublado com chuvas em áreas isoladas. Temperatura estável.</b>	<b>Alta 0.95m</b>
Nov/03	10	Alta: 1016	NE	3.6	E	1.2	Tempo parcialmente nublado a nublado, com possibilidade de chuvas isoladas. Temperatura estável.	
	11	Alta: 1016	NNE	3.0	E	1.2	Tempo parcialmente nublado a claro, com névoa seca. Temperatura estável.	
	<b>12</b>	<b>Alta: 1016</b>	<b>NE-NNE</b>	<b>4.8</b>	<b>E</b>	<b>1.5</b>	<b>Tempo parcialmente nublado a claro, com névoa úmida. Temperatura estável.</b>	<b>Baixa 0.30m</b>
Abr/04	27	Alta: 1020	S	...	S	...	Tempo nublado a parcialmente nublado com névoa úmida pela manhã. Temperatura estável.	
	28	Alta: 1024	ESE	...	ESE	1.5	Tempo nublado com período de parcialmente nublado e chuvas isoladas. Temperatura estável.	
	<b>29</b>	<b>Alta: 1024</b>	<b>SE</b>	...	<b>ESE</b>	<b>2.0</b>	<b>Tempo nublado a parcialmente nublado com possibilidade de chuva em áreas isoladas. Temperatura estável.</b>	<b>Baixa 0.60m</b>
Maio/04	29	Alta: 1026	SE-SSE	4.5	S	2.7	Tempo nublado a parcialmente nublado com névoa úmida. Temperatura estável.	
	30	Alta: 1024	NE-NNE	1.5	S-SSE	2.3	Tempo parcialmente nublado a nublado com chuvas isoladas. Temperatura estável.	
	<b>31</b>	<b>Alta: 1022</b>	<b>NE</b>	<b>1.8</b>	<b>SSE</b>	<b>2.0</b>	<b>Tempo claro a parcialmente nublado com névoa úmida ao amanhecer. Temperatura em ligeira elevação.</b>	<b>Baixa 0.30m</b>
Jun/04	26	Alta: 1028	ENE	3.5	ESE	2.0	Tempo claro. Temperatura estável.	

<b>Jun/04</b>	27	Alta: 1024	NE-ENE	2.8	ESE	2.0	Tempo parcialmente nublado com névoa úmida. Temperatura estável.	
	<b>28</b>	<b>Alta: 1024</b>	<b>NNE</b>	<b>3.0</b>	<b>ESE</b>	<b>1.8</b>	<b>Tempo parcialmente nublado a claro com névoa úmida. Temperatura estável.</b>	<b>Baixa 0.50m</b>
<b>Jul/04 Ago/04</b>	31	Alta: 1028	NE-ENE	3.3	ESE	2.1	Tempo claro a parcialmente nublado. Temperatura estável.	
	01	Alta: 1024	ENE	4.0	ESE-SE	1.9	Tempo claro a parcialmente nublado. Temperatura estável.	
	<b>02</b>	<b>Alta: 1020</b>	<b>ENE-NE</b>	<b>3.9</b>	<b>SE</b>	<b>2.0</b>	<b>Tempo parcialmente nublado. Temperatura estável.</b>	<b>Baixa 0.74m</b>
<b>Set/04</b>	01	Alta: 1028	S	...	S	...	Tempo claro com período de parcialmente nublado. Temperatura estável.	
	02	Alta: 1028	NW	...	SSE	2.0	Tempo claro. Temperatura estável.	
	<b>03</b>	<b>Alta: 1024</b>	<b>SE</b>	...	<b>SSE</b>	<b>2.0</b>	<b>Tempo parcialmente nublado a nublado. Temperatura estável.</b>	<b>Alta 0.93m</b>
	28	Alta: 1020	NE	...	E	...	Tempo claro. Temperatura estável.	
	29	Alta: 1016	NE	5.8	E	1.4	Tempo claro. Temperatura estável.	
	<b>30</b>	<b>Baixa: 1008</b>	<b>N-NNE</b>	<b>5.0</b>	<b>E</b>	<b>1.3</b>	<b>Tempo parcialmente nublado a nublado com pancadas de chuva e trovoadas isoladas no fim do dia. Temperatura estável..</b>	<b>Baixa 0.40m</b>
<b>Dez/04</b>	06	Alta: 1016	N-NNE	3.9	ESE	0.7	Tempo parcialmente nublado com possibilidade de chuva e trovoadas isoladas. Temperatura estável.	
	07	Alta: 1016	NNE	5.0	E	0.7	Tempo claro a parcialmente nublado, passando a nublado com pancadas de chuva e trovoadas no final do período. Temperatura estável.	
	<b>08</b>	<b>Alta: 1016</b>	<b>NNE</b>	<b>5.0</b>	<b>E</b>	<b>0.7</b>	<b>Tempo claro a parcialmente nublado, passando a nublado com pancadas de chuva e trovoadas isoladas. Temperatura estável.</b>	<b>Baixa 0.47m</b>

Fontes: DHN, 2003, 2004; CPTEC, 2003, 2004; INMET, 2003, 2004.

Pela tabela 3, pode-se observar que as campanhas abrangeram todos os domínios de vento para a região de estudo, sendo predominantes os ventos de NE a E (quadrante NE-E), oriundos das altas subtropicais do Sistema Tropical Atlântico (Ta), nas campanhas de nov/03, maio/04, jun/04, ago/04, 30set/04 e dez/04.

Nas campanhas de ago/03, set/03, abr/04 e 03set/04 predominaram ventos de SE a E (quadrante SE-E), relacionados à chegada de frentes frias devido à Massa Polar Atlântica (Pa).

O padrão de ventos gerou ondas precedentes desses dois quadrantes principais, porém, ao contrário do que ocorreu com os ventos, o quadrante predominante foi SE-E, sendo esse o padrão de ondas nas campanhas de ago/03, set/03, abr/04, maio/04, jun/04, ago/04 e 03set/04. Nas campanhas de nov/03, 30set/04 e dez/04 o padrão que predominou foi o de E, principalmente devido aos ventos do quadrante NE-E.

## 5.2 Setorização da praia a partir da presença das cúspides e tipologia praial

A partir da sobreposição dos caminhamentos e de dados pretéritos da morfodinâmica e tipologia da praia de Camburi, foram identificados 3 setores (Figura 15):

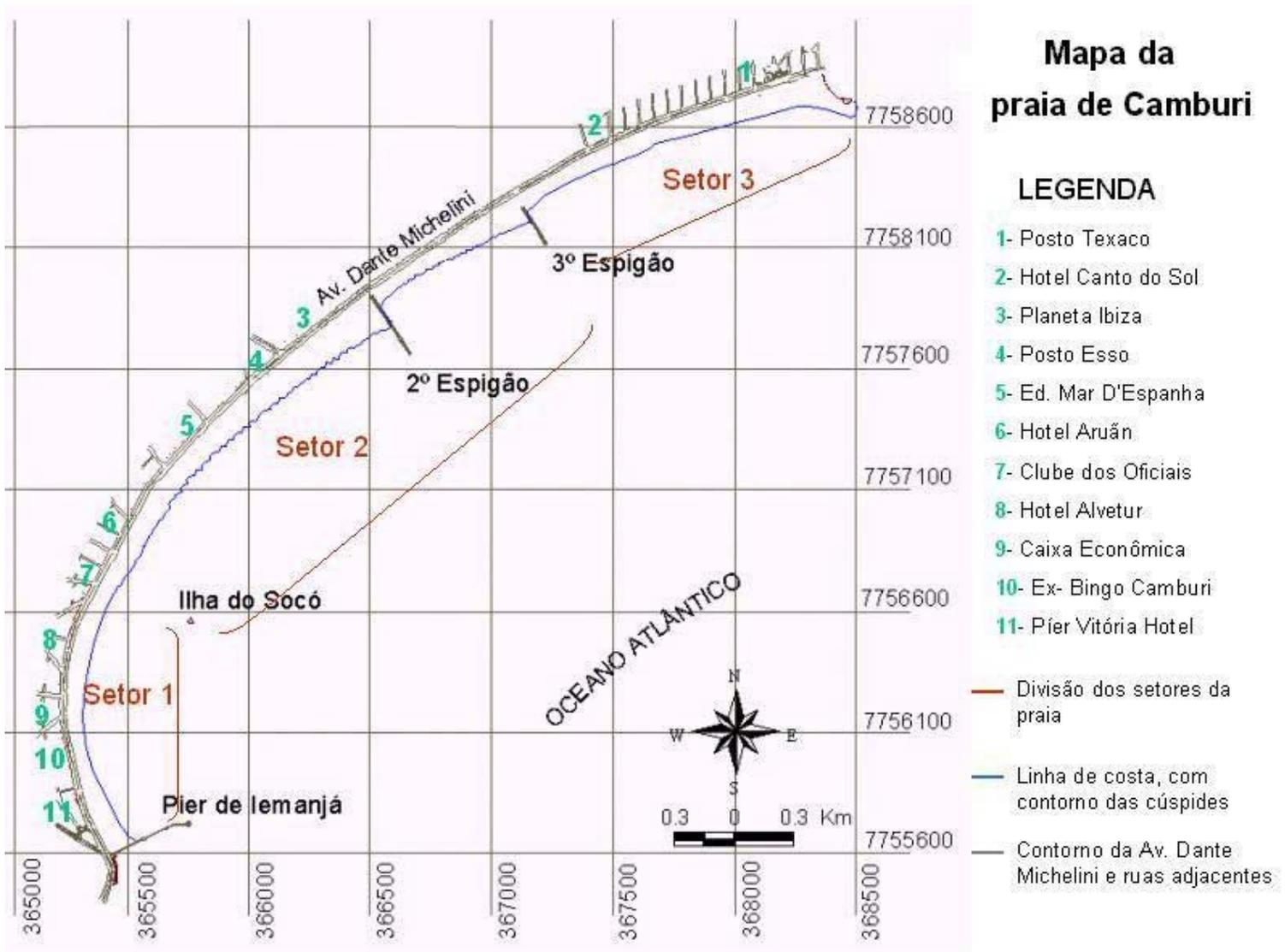


Figura 15 - Mapa de acompanhamento da linha de costa, com pontos conhecidos da orla de Camburi, para facilitar a identificação dos 3 setores baseados na presença das cúspides, morfodinâmica e tipologia praial: **Setor 1** (início da praia)- lado Norte (sotamar) do 1º espigão (Pier de Iemanjá) até aproximadamente 1150m; **Setor 2** (região central da praia)- a partir desses 1150m, em frente ao Clube dos Oficiais, até a barlar do 3º espigão, com cerca de 2000m; **Setor 3** (porção final da praia) - sotamar do 3º espigão até o final da praia.

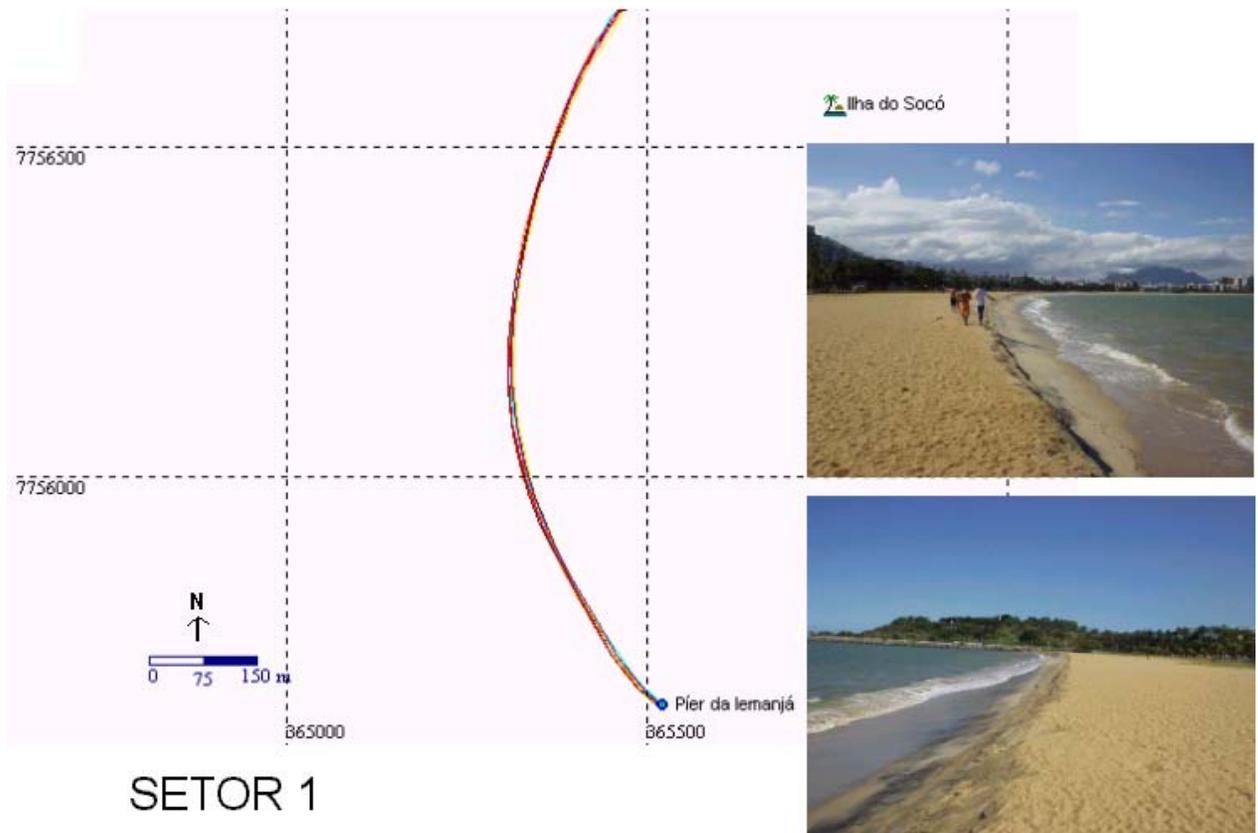
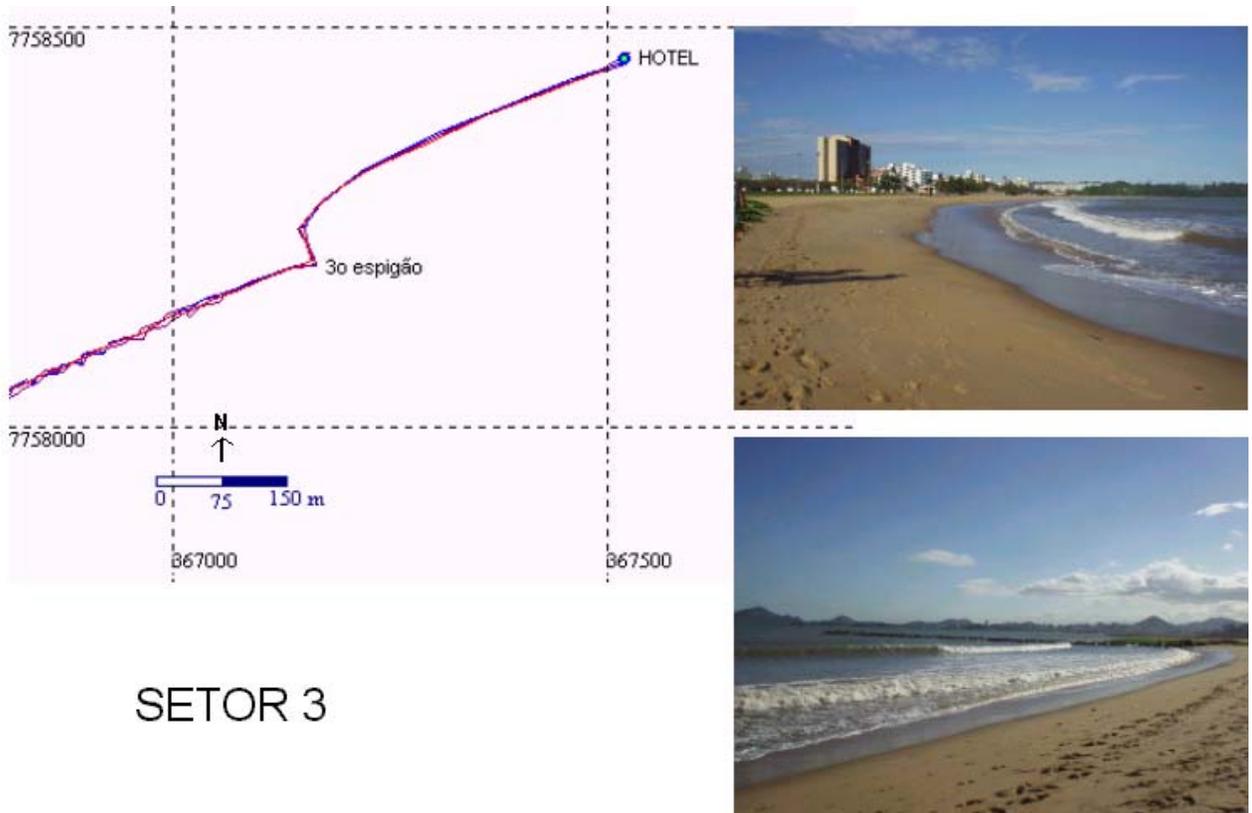


Figura 16 – Sobreposição dos caminhamentos mostrando o Setor 1, com duas fotos do Setor no detalhe. Fotos: Caroline Leão (nov/04).

- **Setor 1:** Localiza-se a partir do 1º espigão (píer de Iemanjá) até aproximadamente 1150m da praia de Camburi. Neste setor não há ocorrência de cúspides, a praia é intermediária, com declividade moderada a alta de antepraia, sedimentos grossos, ondas do tipo mergulhante e atuação da deriva litorânea (Figura 16).



### SETOR 3

Figura 17 – Sobreposição dos caminhamentos mostrando o final do Setor 2 e o Setor 3, com duas fotos do Setor 3 no detalhe. Fotos: Caroline Leão (nov/04).

- **Setor 3:** Localiza-se a partir do 3º espigão até o final da praia. Este setor se apresenta com estado morfodinâmico dissipativo, grande estabilidade, ausência de cúspides, declividade de antepraia moderada a baixa, com arrebentação de onda deslizante e areias finas (Figura 17).

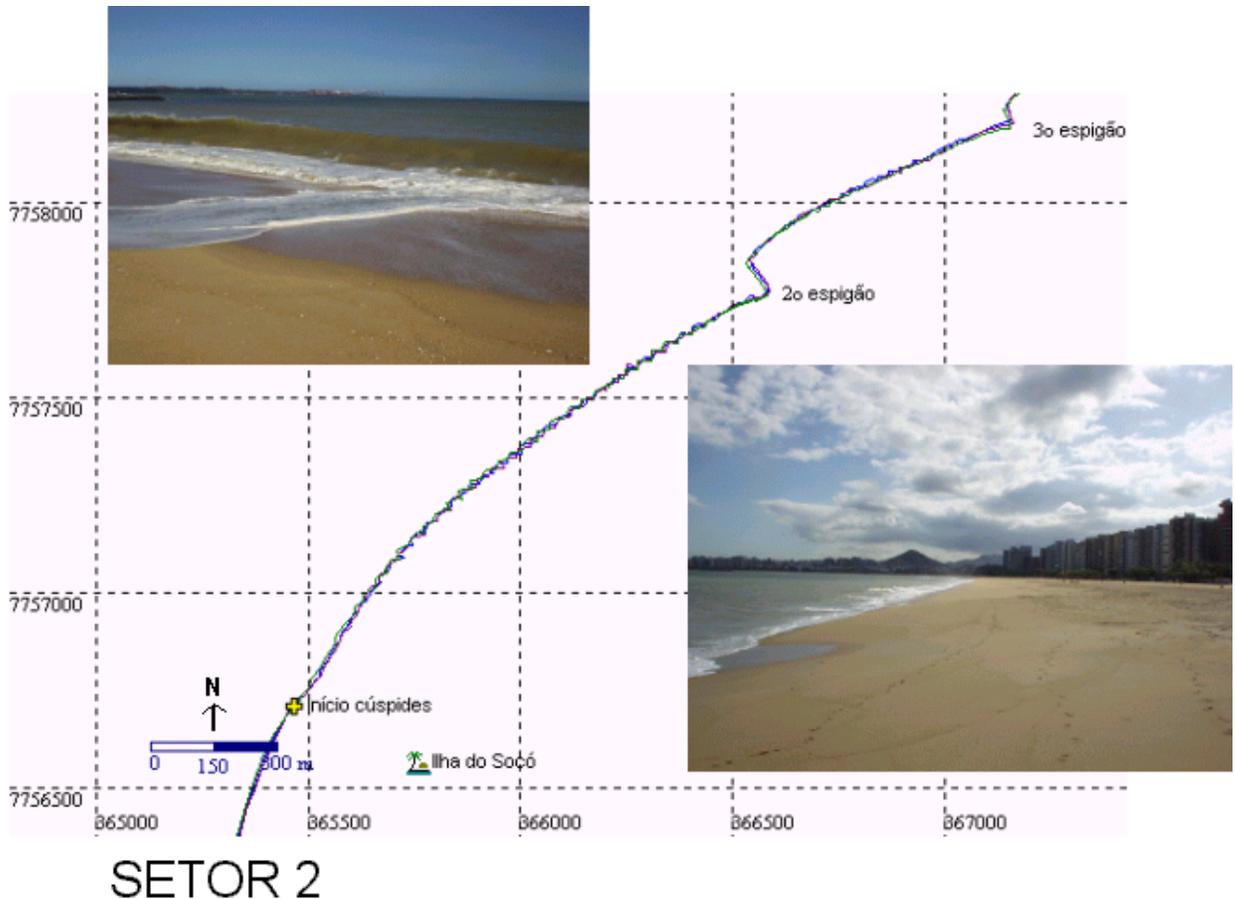


Figura 18 – Sobreposição dos caminhamentos mostrando o Setor 2, com duas fotos do Setor no detalhe. Fotos: Caroline Leão (nov/04).

- **Setor 2:** Localiza-se a partir dos 1150m de praia, em frente ao Clube dos Oficiais, até a barlar do 3º espigão, com cerca de 2000m (Figura 15). Nesse setor a praia é do tipo intermediária, com declividade alta a moderada da antepraia, ondas do tipo ascendente e mergulhante e sedimentos médios, apresentando cúspides e desenvolvimento de correntes de retorno (Figura 18).

A sobreposição dos caminhamentos revelou dois comportamentos distintos de variação das linhas de cúspides neste setor 2: em 7 dos 10 caminhamentos sobrepostos (ago/03, set/03, nov/03, maio/04, 03set/04, 30set/04 e dez/04), as cúspides apresentaram um comportamento recorrente onde foi possível a divisão em sub-setores, com características distintas. Com a sobreposição dos outros 3 caminhamentos (abr/04, jun/04 e ago/04), não foi possível a determinação de um comportamento que permitisse a identificação de sub-setores, já que nessas campanhas a praia encontrava-se com a

morfologia caótica. Esse comportamento será explicado mais adiante, no item **5.3**, quando for feita a correlação com as condições meteoceanográficas.

Em se tratando do comportamento mais recorrente, obtido com a sobreposição dos 7 caminhamentos citados acima, verificou-se diferentes espaçamentos entre as cristas das cúspides, modificação na sua posição, assim como a presença de feições, sendo possível portanto, a subdivisão do setor 2 em outros 5 sub-setores (Figura 19).

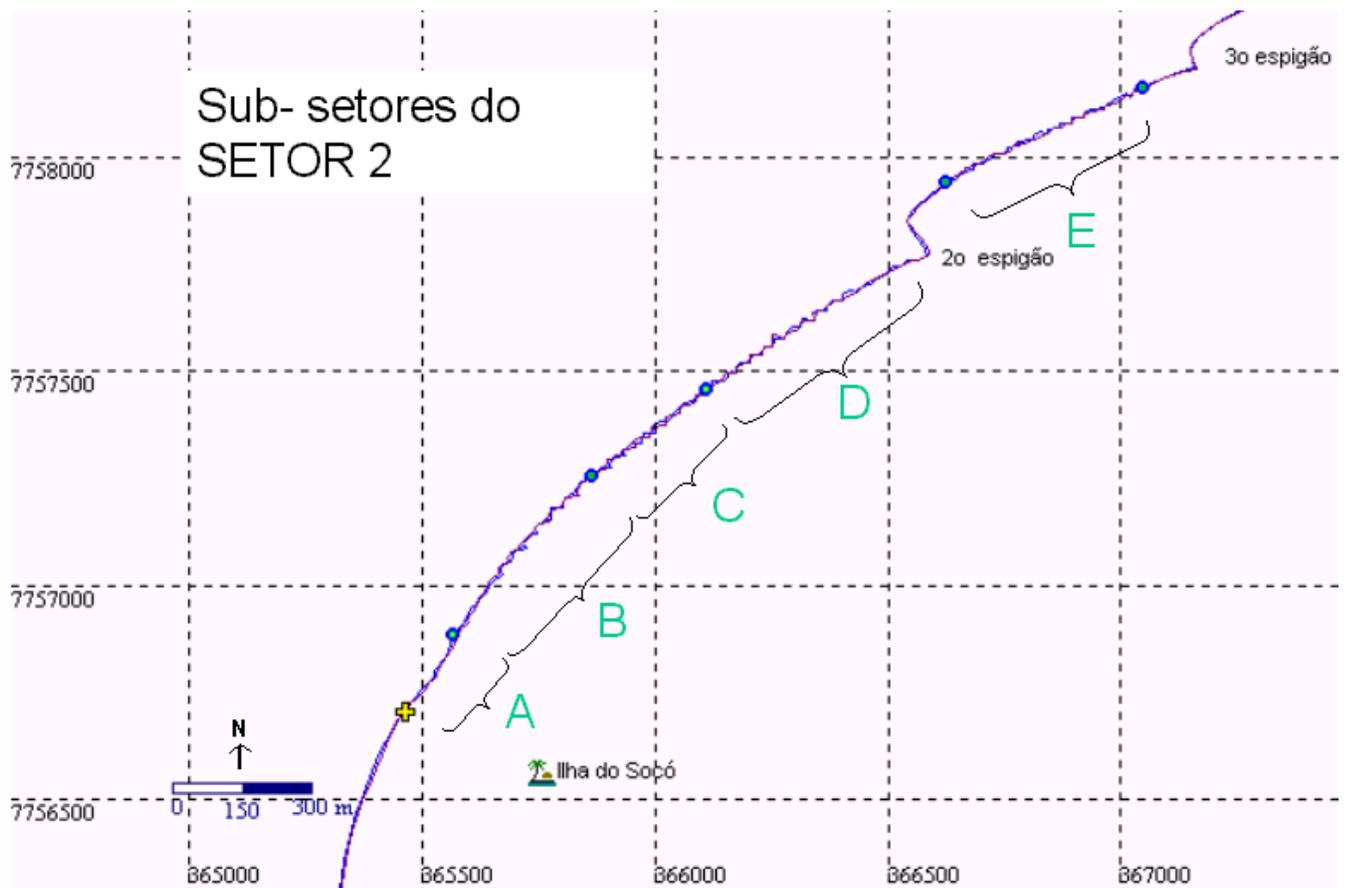


Figura 19 – Sub-setores do setor 2.

- **Sub-setor A**- Em frente ao Clube dos Oficiais (UTM 365425 Easting 7756671 Northing): cúspides de espaçamento e forma irregular, variando de 20 a 50 m, devido à difração das ondas causada pela Ilha do Socó, que impede a regularização do espraiamento (Figuras 20 e 21);



Figura 20 - Foto mostrando o sub-setor A (círculo verde), onde começam a aparecer cúspides, em frente ao Clube dos Oficiais. As cúspides aparecem irregulares devido ao sombreamento causado pela Ilha do Socó. Foto: Gilberto Barroso (out/97).

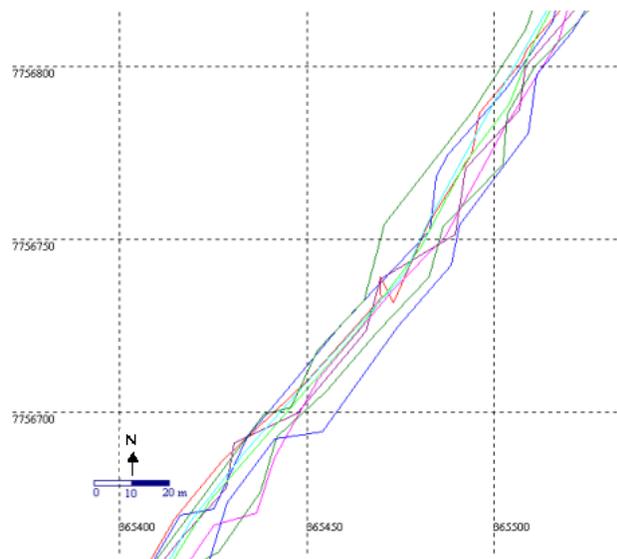


Figura 21 – Sobreposição dos caminhamentos no Sub-setor A: forma irregular das cúspides.

- **Sub-setor B-** Regularização do tamanho em frente ao Hotel Aruã (UTM 365525 Easting 7756841 Northing): começam a aparecer escarpas nas cristas e estas cúspides têm seu espaçamento em torno de 40 m (Figuras 22 e 23);



Figura 22 – Cúspide do sub-setor B, onde há destruição da crista e desenvolvimento de escarpa. Fotos: Caroline Leão (set/04).

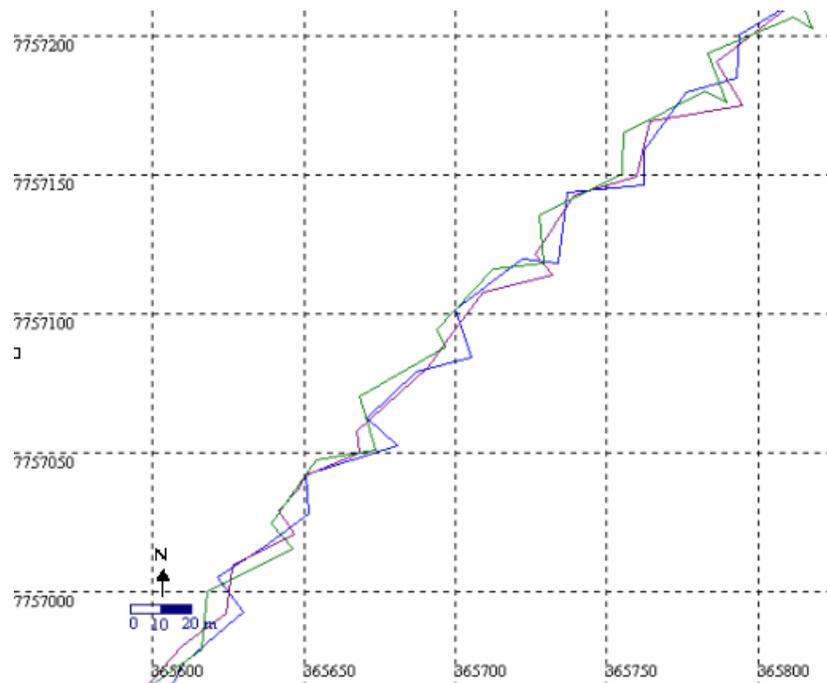


Figura 23 – Sobreposição de 3 dos 7 caminhamentos para a melhor visualização do Sub-setor B: cúspides com cavas estáveis na posição ao longo das campanhas.

- **Sub-setor C-** As escarpas desaparecem (UTM 365825 Easting 7757212 Northing) e as cúspides mantêm seu espaçamento em torno de 40 m (Figura 24), com pequena mobilização;

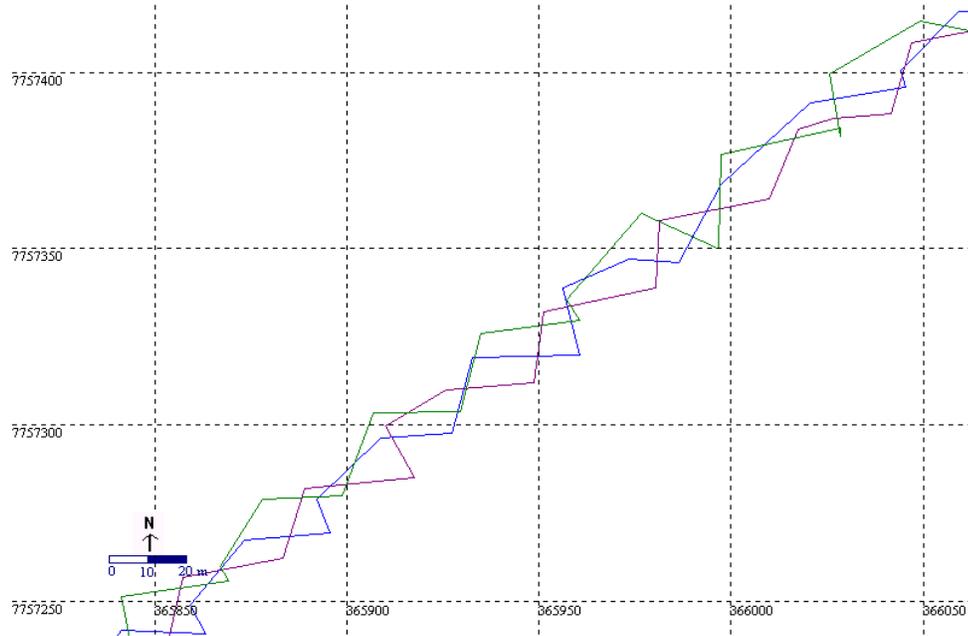


Figura 24 – Sobreposição de 3 dos 7 caminhamentos para a melhor visualização do Sub-setor C, onde há uma pequena mobilização das cúspides ao longo das campanhas de campo.

- **Sub-setor D-** As cavas das cúspides voltam a se tornar estáveis na sua posição, com média de 40m de espaçamento (Figura 25);

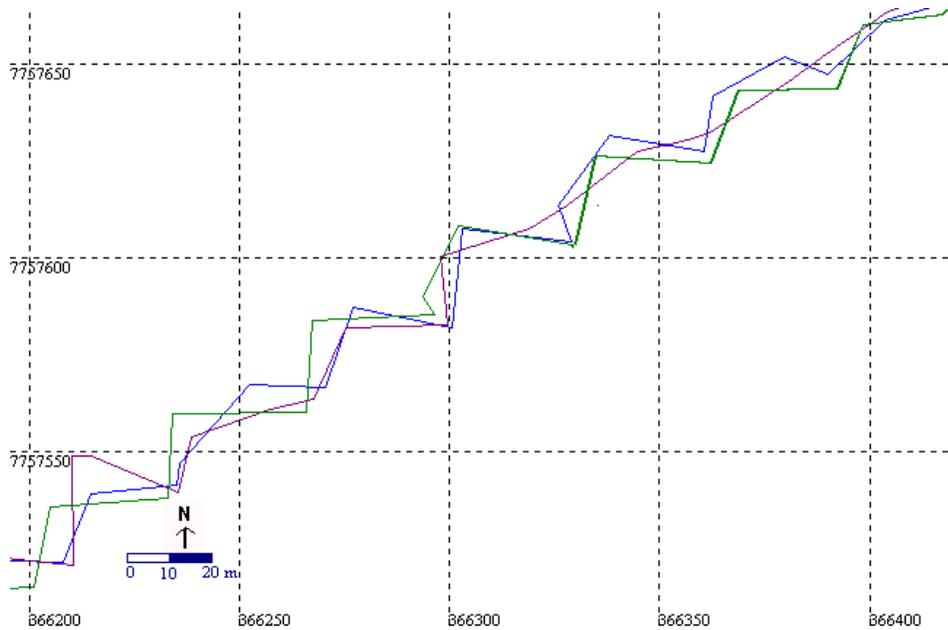


Figura 25 - Sobreposição de 3 dos 7 caminhamentos para a melhor visualização do Sub-setor D: cúspides com cavas estáveis ao longo das campanhas.

- **Sub-setor E-** Após aproximadamente 135 metros a sotamar do 2º espigão, as cúspides tornam a existir regulares, com espaçamento médio de 29 m (UTM 366593 Easting 7757913 Northing). Desaparecem a cerca de 110 metros do 3º espigão (UTM 367016 Easting 7758130 Northing), Figura 26.



Figura 26 - Foto do sub-setor E, entre os 2º e 3º espigões, onde a posição das cavas das cúspides se manteve estável ao longo das campanhas. Foto: Flávio Santos (2004).

### 5.3 *Variação da morfologia das cristas sob as diversas condições meteoceanográficas*

Apesar das cavas das cúspides permanecerem na posição na maior parte do setor 2 ao longo das campanhas de campo, foi observada a mobilização das cristas sob diversas condições meteoceanográficas (Tabela 4).

Tabela 4 - Comportamento das cristas durante as campanhas.

<b>Campanhas</b>	<b>Morfologia das cristas</b>
14/08/03	cristas um pouco envergadas para Sul
18/09/03	cristas um pouco envergadas para Leste
12/11/03	cristas normais à entrada da Baía*
29/04/04	sem definição
31/05/04	cristas um pouco envergadas para Leste
28/06/04	sem definição
02/08/04	sem definição
03/09/04	cristas um pouco envergadas para Sul
30/09/04	cristas normais à entrada da Baía*
08/12/04	cristas normais à entrada da Baía*

\* as cristas normais à entrada da Baía do ES são as de SE, já que a mesma é voltada para esta direção.

Nas campanhas de abr/04, jun/04 e ago/04, quando não pôde ser reconhecido um padrão de comportamento das cristas, estas se encontravam escarpadas, em maior quantidade e, foram ainda observadas pequenas cúspides, provavelmente em desenvolvimento, entre as cúspides maiores. A morfologia caótica apresentada durante essas campanhas sugere a recente passagem de um evento de maior energia. Uma explicação possível seria a associada ao padrão de ondas observado durante essas campanhas de campo, proveniente de ESE, que são relacionadas, segundo Albino et al. (2001), com a passagem de frente fria. Outra explicação seria a atuação de uma maré meteorológica, conforme Marone e Camargo (1994).

Comparando as tabelas 3 e 4, obteve-se que nas campanhas de ago/03 e 03set/04, quando as cristas se envergaram para S, o padrão de ventos predominante foi o do quadrante SE-E e o padrão de ondas predominantes foi de SSE, provenientes do quadrante E-SE. Conforme Albino et al. (2001), essas ondas são provenientes de frentes frias intensas e desta forma, com altos períodos e alturas. Porém, dentro da baía do Espírito Santo há dissipação dessas ondas devido

à presença das Ilhas do Frade e Boi e da Ponta de Tubarão, fazendo com que estas alcancem a praia com alturas pequenas, porém causando um leve envergamento das cristas na direção S.

Da mesma forma, nas campanhas de set/03 e maio/04 as cristas das cúspides se envergaram para E, sendo observado na tabela 3 que nessas campanhas também foram predominantes as ondas de SSE, porém com ventos do quadrante NE-E. Isso implica que os ventos desse quadrante, por serem mais forte do que os outros quadrantes, conforme Sarmento (1983, apud PAIVA, 1999), provavelmente ocasionaram uma leve mudança de direção das ondas quando estas alcançavam a praia, deixando-as na direção E, para onde as cristas das cúspides estavam levemente envergadas.

As cristas que foram tomadas como referência, se comportando normais à entrada da baía do ES, foram as das campanhas de nov/03, 30set/04 e dez/04, onde foram observados padrões de ventos do quadrante NE-E e ondas procedentes de E, implicando na chegada dessas ondas à praia de Camburi, conforme Albino et al. (2001), mudando da direção NE-E para SE, permitindo que as cristas se comportassem dessa forma.

## 6 DISCUSSÃO

### 6.1 *Morfodinâmica da praia X presença das cúspides*

A praia de Camburi constitui uma região protegida contra as ondas incidentes de ENE e semi-exposta às ondas incidentes de ESE e SSE, pois é ladeada ao Norte pela saliência dos tabuleiros da Formação Barreiras e pela ponta de Tubarão e, ao Sul, pelos afloramentos rochosos do embasamento cristalino (Ilha do Fato, Ilha dos Índios e Morro do Colégio Sagrado Coração de Maria), com abertura voltada para SE.

A setorização da praia está diretamente relacionada com os processos morfodinâmicos e a presença das cúspides. Os resultados indicaram que ao longo dos 3,5 km monitorados, a região central da praia, setor 2, com aproximadamente 2 km, apresenta o desenvolvimento de cúspides (Figuras 15 e 18), sendo possível identificar sub-setores de acordo com sua estabilidade morfológica, espaçamento das cristas e presença de escarpas (Figura 19).

A praia no setor 1 (Figura 16) se apresenta com declividade moderada a alta de antepraia e arrebentação de ondas tipo frontal. A atuação da corrente longitudinal predominantemente de S para N, principalmente por ocasião da entrada de ondas de NE-E, já havia sido registrada por Albino et al. (2001), evidenciando a deriva litorânea como o principal fator que impede o desenvolvimento de cúspides nesse setor mais ao Sul, impedindo o empilhamento de água na praia e conseqüentemente, impedindo a atuação das ondas de borda, principal formadora das cúspides, juntamente com as ondas incidentes (GALVIN, 1964; BOWEN e INMAN, 1969; GUZA e BOWEN, 1981 apud INMAM e GUZA, 1982).

O setor 3 (Figura 17) apresenta menor declividade, ondas de arrebentação deslizante e recebe as areias finas da deriva litorânea, sendo este último um dos principais fatores que impedem o desenvolvimento das cúspides.

A presença de cúspides no setor 2 se deve principalmente por ser a região mais exposta da praia, onde as ondas incidentes produzem uma substancial elevação do espraiamento na face o que, conforme reportado por Inmam & Guza (1982), é umas das características de praias com cúspides, além de sua característica morfodinâmica, cujo estado é intermediário, com declividade alta a moderada da antepraia, ondas do tipo ascendente e mergulhante e sedimentos médios (ALBINO et al., 2005), já que as cúspides se desenvolvem melhor em praias de sedimento mais grosso e com grande declive (KOMAR, 1998).

## 6.2 Comportamento das cúspides no Setor 2

No setor das cúspides, setor 2, ocorre um padrão quase regular de espaçamento entre cristas, que varia entre 20 e 50 metros (sub-setor A) tendo, em sua grande maioria, média de 40 metros até o 2º espigão (sub-setores B, C e D) e 29 metros entre os 2º e 3º espigões (sub-setor E), figura 19. Além disso, percebe-se que, mesmo com diferentes padrões de entrada de ondas e ventos, elas começam a existir sempre a partir da região em frente ao Clube dos Oficiais (Figura 15), porém, só se tornam regulares em frente ao Hotel Aruã, quando saem da zona de sombreamento da Ilha do Socó (que difrata as ondas, impedindo uma regularidade de espraiamento das ondas, figura 20) e, terminam por se extinguirem, a barlar (Sul) do 3º espigão.

Neste setor 2, foram verificados, trechos com migração e instabilidade morfológica das cúspides (sub-setor A), trechos com destruição das cristas e desenvolvimento de escarpas (sub-setor B) e trechos com estabilidade no posicionamento das cavas ao longo das campanhas (sub-setores B, C, D e E). Essas variedades morfológicas estão associadas, principalmente:

- Processo de dissipação das ondas no entorno da Ilha do Socó, ocasionando irregularidades no espraiamento e conseqüentemente, no desenvolvimento desigual das cúspides, fazendo com que sub-setor A (figuras 20 e 21) apresente maior mobilização das cavas ao longo das campanhas, variando de acordo com as variáveis meteoceanográficas, principalmente com o padrão de entrada de ondas.
- Interferência entre ondas provenientes de NE e de SE, resultando em uma ortogonal de onda perpendicular à praia, que arrebenta com altura por vezes igual ou superior a 1,20m com tipo frontal ascendente, ocasionando formação das escarpas (sub-setor B), figuras 22 e 23, conforme Kana (1977, apud ANTIA, 1989), que notou que nas cristas das cúspides geralmente ocorre a formação de escarpas praias (*beach scarps*);
- Reflexão das ondas próximas aos 2º e 3º espigões, fazendo com que as cúspides só aparecem a alguns metros de distância destes (sub-setor E), figura 26, devido à interferência que os mesmos causam no espraiamento, não permitindo o desenvolvimento das cúspides próximas a eles;
- Presença de correntes de retorno nas cavas das cúspides, fazendo com que o transporte transversal da praia seja dominante em relação ao transporte longitudinal, mantendo a estabilidade das cúspides e praticamente impedindo sua mobilização (sub-setores B, C, D e E), figuras 23, 24, 25 e 26. Isso porque as cúspides associadas com a

célula de circulação e correntes de retorno - a forma clássica de cúspides praias - são usualmente mais estáveis na posição. Na presença de correntes longitudinais mais eficientes, elas provavelmente seriam destruídas, primeiro transformando-se em altamente assimétricas e então, sendo lavadas inteiramente (KOMAR, 1998).

Conforme reportado por Masselink et al. (1997), as cúspides respondem rapidamente a mudanças das condições de onda e ventos e isso foi verificado, pois os padrões de entradas de ondas e ventos foram responsáveis pela mobilização as cristas das cúspides, através de seu envergamento, sendo as mesmas praticamente perpendiculares à praia nas campanhas de nov/03, 30set/04 e dez/04. Nestas ocasiões foram observados padrões de ventos do quadrante NE-E e ondas procedentes de E, devido a maior dissipação dessas ondas no interior da baía do Espírito Santo, conforme Albino et al. (2001), fazendo com elas cheguem praticamente normais à entrada da referida baía, sendo ela voltada para SE.

Nas campanhas de ago/03 e 03set/04, quando as cristas se envergaram para S, o padrão de ventos e ondas predominantes nessas campanhas foram do quadrante SE-E, e conforme Albino et al. (2001), essas ondas são provenientes de frentes frias intensas e desta forma, com altos períodos e alturas. Porém, dentro da baía do Espírito Santo há dissipação dessas ondas devido à presença das Ilhas do Frade e Boi e da Ponta de Tubarão, fazendo com que estas ondas alcancem a praia com alturas pequenas, porém causando um leve envergamento das cristas na direção S. Da mesma forma, nas campanhas de set/03 e maio/04 as cristas das cúspides se envergaram para E, sendo observado que nessas campanhas também foram predominantes as ondas do quadrante SE-E, especificamente de SSE, porém com ventos do quadrante NE-E. Isso implica que os ventos podem ter ocasionado uma leve mudança de direção das ondas quando estas alcançavam a praia, deixando-as na direção E, para onde as cúspides estavam levemente envergadas. Esse fato é sugerido por Masselink (1996), quando o autor reporta que os ventos na costa induzem alterações na hidrodinâmica da praia, ocasionando na modificação da morfologia das cúspides.

O padrão de envergamento não pôde ser reconhecido nas campanhas de abr/04, jun/04 e ago/04, visto que estas se encontravam com a morfologia caótica, sugerindo a recente passagem de um evento de maior energia. Uma explicação possível seria a associada ao padrão de ondas observado durante essas campanhas de campo, proveniente predominantemente de ESE, que são relacionadas, segundo Albino et al. (2001), com a passagem de frente fria. Essas ondas alcançariam a praia com grandes alturas, devido a menor dissipação em relação aos outros padrões de entrada dentro da baía do Espírito Santo, já que esta é voltada para SE e seu empilhamento na costa favoreceria ainda mais a atuação das

ondas de borda. A maior atuação dessas ondas poderia estar favorecendo o aparecimento dessas cúspides menores, em desenvolvimento, observadas durante essas três campanhas. Outra explicação seria a atuação de uma maré meteorológica, conforme Marone e Camargo (1994), que elevaria o nível do mar, ocasionando ondas mais altas e com maior poder de mudança da morfodinâmica da praia, e dessa forma, modificando a morfologia das cúspides.

De maneira geral, pode-se perceber que o **setor 2** pode ser dividido em sub-setores com características distintas das cúspides, sendo que no **sub-setor A** as cúspides variam de acordo com o padrão de entrada de ondas e nos demais **sub-setores B, C, D e E**, apresentam-se com suas cavas estáveis ou com pouca mobilização ao longo das campanhas de campo, independente do padrão de entrada de ondas e ventos. As cristas das cúspides ao longo de todo o **setor 2** se mobilizam de forma que se envergam ora para uma direção ora pra outra, de acordo com as variáveis meteoceanográficas. Acontecimentos de maior energia como marés meteorológicas e/ou passagens de frentes frias modificam todo o **setor 2**, fato esse evidenciado pelo comportamento anômalo das cúspides durante as campanhas de 29 abr 04, 28 jun 04 e 02 ago 04.

## 7 CONCLUSÃO

Na praia de Camburi, têm sido reconhecidos setores com diferenças morfodinâmicas devido ao grau de exposição às ondas e atuação de ondas secundárias e correntes litorâneas. Esta setorização se mostra diretamente relacionada à presença das cúspides, evidenciando, dessa forma, 3 grandes setores ao longo da praia:

- Setor 1, onde a praia é intermediária, com declividade moderada a alta de antepraia, não havendo ocorrência de cúspides principalmente devido à atuação da deriva litorânea, impedindo o empilhamento de água na praia e, conseqüentemente, a ação das ondas de borda;
- Setor 2, no qual a praia é do tipo intermediária, com declividade alta a moderada da antepraia, ondas do tipo ascendente e mergulhante e sedimentos médios, apresentando cúspides e desenvolvimento de correntes de retorno. Nesse setor, as cúspides apresentaram características distintas com um comportamento recorrente, onde foi possível o estabelecimento de sub-setores de acordo com sua estabilidade morfológica, espaçamento das cristas e presença de escarpas.
- Setor 3, que se apresenta com estado morfodinâmico dissipativo, declividade de antepraia moderada a baixa e areias finas, não permitindo o desenvolvimento de cúspides.

Associada às condições meteoceanográficas, a variação das cristas das cúspides presentes ao longo do setor 2 indica que podem servir como assinaturas de primeira-ordem das modificações da morfodinâmica da praia de Camburi pois, de acordo com os padrões de entrada de ondas e ventos, ocorre mudança no envergamento das cristas, além do fato de que quando há passagem de um evento de maior energia, como frentes frias e marés meteorológicas, as cúspides apresentam morfologia caótica ao longo de todo o setor.

O método de caminhamento com GPS revelou-se simples e satisfatório. O sucesso de sua aplicação nesta monografia deve-se ao número de campanhas realizadas, onde houve descarte de caminhamentos devido a erros de captação pelo GPS pelas condições desfavoráveis de tempo, e, ainda assim, com o restante das campanhas que foram validadas, foi possível reconhecer padrões e identificar comportamentos anômalos das cúspides. O cuidado com a captação dos dados, além da escolha de pontos fixos

referenciais para a sobreposição dos caminhamentos permitiu a acuidade dos resultados, corrigidos de possíveis distorções.

Por fim, o presente trabalho revela sua contribuição no conhecimento da morfodinâmica da praia de Camburi, além de auxiliar na caracterização da região para eventos meteorológicos e oceanográficos, devido à aquisição de dados meteoceanográficos referentes ao monitoramento mensal ao longo de um ano e meio. O trabalho também pode ser usado para projetos relacionados a segurança do usuário da praia de Camburi, com o mapeamento de áreas propícias ao desenvolvimento das correntes de retorno, devido à presença destas nas cavas das cúspides.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 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.
2. ALBINO, J.; OLIVEIRA, R. Monitoramento topográfico e granulométrico das areias da praia de Camburi, Vitória, ES, durante e após o engordamento artificial. **Simpósio Brasileiro sobre praias arenosas**. pg. 355. 2000.
3. ALBINO, J.; OLIVEIRA, R.; MAIA, L. P.; ALENCASTRE, K. **Processos atuais de sedimentação marinha e praias do litoral de Vitória, ES**. Relatório final da pesquisa Fundo de amparo à ciência e a tecnologia (FACITEC) – Prefeitura de Vitória, número 198.2506/2000. 2001.
4. ALBINO, J.; SABAINI, R. S.; LEÃO, C; PRATA, P. M. **Morfodinâmica e perfil do banhista envolvidos em acidentes na praia de Camburi, Vitória- ES**. Relatório final da pesquisa Fundo de amparo à ciência e a tecnologia (FACITEC) – Prefeitura de Vitória, número 5376459/2003. 2005.
5. ANTIA, E. E. Beach cusps and beach dynamics: a quantitative field appraisal. **Coastal Engineering**, n. 13, p. 263-272. 1989.
6. ANTIA, E. E. Preliminary field observations on beach cusp formation and characteristics on tidally and morphodynamically distinct beaches on the Nigerian coast. **Marine Geology**, v. 78, p. 23-33. 1987.
7. AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro, RJ. Bertrand Brasil. 2ª ed. 1988.
8. CARTER, R. W. G. **Coastal Environments: an Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines**. 4. ed. London: Academic Press, 1993.
9. CLIMANÁLISE 1986. Boletim de Monitoramento e Análise Climática, Número Especial, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - MCT/INPE.
10. COCO, G., T. K. BURNET, B. T. WERNER, AND S. ELGAR. The role of tides in beach cusp development, J. **Geophys. Res.**, 109, C04011, doi:10.1029/2003JC002154. 2004.
11. COSTA, R. B. **Expansão urbana da área norte de Vitória**. Espírito Santo. Ed. Cultural, 1989.
12. DAVIS Jr, R. A. **Coastal Sedimentary Environments**. 2. ed. New York: Springer-Verlag, 1985.

13. HOEFEL, F. **Morfodinâmica das praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica**. Univali, Itajaí – PR. 93 p. 1998.
14. HOLLAND, K. T.; HOLMAN, R. A. Field observations of beach cusps and swash motions. **Marine Geology**, v. 134, p. 77-93, set.1996.
15. INMAM, D. L.; GUZA, R. T. The origin of swash cusps on beaches. **Marine Geology**, v. 49, p. 133-148, set. 1982.
16. KOMAR, P. D. **Beach processes and sedimentation**. 2. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1998.
17. MARONE, E.; CAMARGO, R. Marés meterológicas no litoral do estado do Paraná: O evento de 18 de Agosto de 1993. **Nerítica**, Curitiba, v.8(1-2), 73-85. 1994.
18. MARONE, E. et al. **Recursos Costeiros**– Instituto do Milênio. 2001. Disponível em: <[www.cnpq.com.br](http://www.cnpq.com.br)>. Acesso em: 20 abr. 2003.
19. MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J.M. As flutuações de nível do mar durante o Quaternário superior e a evolução geológica de “deltas brasileiros”. **Boletim IG- USP**. Publicação especial 15. São Paulo. USP. 186p. 1993.
20. 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.
21. MASSELINK, G. Sea breeze activity and its effect on coastal processes near Perth, Western Australia. **Journal of the Royal Society of Western Australia**, n. 79, p. 199-205. 1996.
22. MASSELINK, G.; HEGGE, B. J.; PATTIARATCHI, C. B. Beach cusp morphodynamics. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 22, p. 1139-1155. 1997.
23. MIRANDA, E. E. de; COUTINHO, A. C. (Coord.). **Brasil Visto do Espaço**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível em: <<http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 12 dez. 2004.
24. MONTEIRO, C. A. F. Clima. In: **Geografia do Brasil. Grande Região Sul**. Rio de Janeiro, Fundação IBGE, v. 5, p. 114-136. 1949.
25. MUEHE, D. **Geomorfologia costeira**. In GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. da (orgs). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos (capítulo 6)**. Bertrand Brasil, RJ. p.253-308. 2001.
26. NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2 ed, Rio de Janeiro, IBGE. 1989.

27. OLIVEIRA, E. G. **Influência da Ilha de Pituã na dinâmica da praia de Itapoã, Vila Velha, ES.** Monografia de Graduação em Geografia. Departamento de Geografia. Universidade Federal do Espírito Santo. 1995.
28. PAIVA, D. de S. **Estudo sedimentológico do material de fundo do Canal da Passagem e trecho da Baía de Vitória, ES.** Monografia de especialização em Ecologia – Departamento de Ecologia e Recursos Naturais. UFES. Vitória- ES, 54 p. 1999.
29. RIGO, D. **Apostila de oceanografia física descritiva.** Apostila de aula do semestre 2002/01 da Universidade Federal do Espírito Santo para o curso de oceanografia. Vitória. 2002.
30. SUGUIO, K. Cúspide praial. In: DICIONÁRIO DE GEOLOGIA SEDIMENTAR E ÁREAS AFINS. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.197. 1998.
31. SUGUIO, K. DICIONÁRIO DE GEOLOGIA MARINHA, COM TERMOS CORRESPONDENTES EM INGLÊS, FRANCÊS E ESPANHOL. T. A. Queiroz. São Paulo. 1992.
32. WRIGHT, L. D. et al. Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore systems: Southeastern Australia. **Marine Geology.** v. 32, p.105-140. 1979.
33. WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia. In: KOMAR, P. D. **Handbook of Coastal Process and Erosion.** CRC Press, p. 35- 64. 1983.