

Morfodinâmica da Praia do Futuro, Fortaleza-CE: uma síntese de dois anos de estudo

Morphodynamic of Futuro Beach, Fortaleza-CE: a synthesis of two years of study

Miguel da Guia Albuquerque^{ad}, Lauro Júlio Calliari^{be}, Iran Carlos Stallivieri Corrêa^{af}, Lidriana de Souza Pinheiro^{cg}

^aCentro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica – CECO - UFRGS, ^bInstituto de Oceanografia - IO - FURG, ^cInstituto de Ciências do Mar – LABOMAR – UFC

^dmigueldaguia@gmail.com, ^etsclauro@furg.br, ^firan.correa@ufrgs.br, ^glidriana.lgco@gmail.com

RESUMO

O entendimento dos processos responsáveis pela morfodinâmica dos ambientes costeiros, e pela formação e migração dos bancos arenosos, é necessário tendo em vista que tais processos assumem um importante papel na conformação, estabilização do ambiente praias e identificação de riscos costeiros. No que diz respeito à morfodinâmica de praias, diferentes modelos conceituais, abordando variações nos estágios morfodinâmicos, têm sido aplicados com o intuito de estabelecer uma classificação universal para praias submetidas a diferentes regimes de marés. O presente estudo foi conduzido na praia do Futuro, Fortaleza-CE. Por meio de dados morfológicos, hidrodinâmicos e de sedimentologia, sazonais, pôde-se acompanhar a evolução dos ciclos de acreção e erosão na localidade em função da variação de energia na zona de arrebatamento. A área foi dividida em três setores de monitoramento e classificada de acordo com o Parâmetro Relativo da Maré (RTR), modelo de estágios morfodinâmicos característico de ambientes de mesomaré. Os dois primeiros setores, caracterizados por granulometria predominantemente grossa e média, foram enquadrados nos estágios morfodinâmicos intermediários. O setor 02 (P03) apresentou os maiores valores para o índice de mobilidade da praia ($\sigma Yb=34,65m$), durante os monitoramentos sazonais. As variações do pacote sedimentar nos dois primeiros setores são mais acentuadas na região do estrâncio médio e inferior. No setor 03, caracterizado por sedimentos finos, predominou o estágio ultradissipativo.

Palavras-chave: Morfodinâmica sazonal; Mobilidade praias; Parâmetro relativo da maré.

ABSTRACT

The comprehension of the mechanisms of the processes responsible for the morphodynamics of coastal environments and formation and migration of sandy banks is important, considering their roles on beach stabilization and identification of coastal risks. What concerns to beach morphodynamics, different conceptual models have been applied, approaching variations on morphodynamic stages aiming to establish a universal classification for beaches under different tide regimen. This study was conducted at Futuro Beach, Fortaleza-CE. Through seasonal, morphological, hydrodynamic and sedimentological data, was possible to relate the evolution of accretion and erosion cycles to energy variation in the breaker zone. The area was divided in three sectors and classified according to Tide Relative Parameter (TRP), model of morphodynamic stages characterized by mesotidal environments. The first two sectors presented coarse and medium grain sizes, and were classified as intermediate morphodynamic stage. Sector 02 (P03) has shown the highest indexes for beach mobility ($\sigma Yb=34,65m$). The variations of sedimentary package in the first two sectors are more expressive at the medium and lower intertidal zone. At sector 03, characterized by fine sediments, the major stage was ultradissipative.

Keywords: Seasonal morphodynamyc; Beach mobility; Relative tidal range.

1. Introdução

O ambiente praias é caracterizado como produto da interação entre ondas e sedimentos, influenciados por uma amplitude de parâmetros adicionais. Desde a década de 1940, pesquisadores de vários países têm demonstrado interesse pelas questões relacionadas aos processos ligados a esses ambientes. O interesse pelo conhecimento dos processos aos quais os ambientes costeiros estão sujeitos estimulou, em agosto de 1953, a criação de um programa voltado à investigação dos ambientes praias, do *Woods Hole Oceanographic Institution* (Zeigler *et al.* 1959). Esse programa

priorizava obter um maior conhecimento dos processos relacionados à ação das ondas, troca sedimentares, marés e correntes atuantes no ambiente praias. A partir da consolidação dos estudos nas zonas costeiras, foi introduzido pela primeira vez na literatura o termo “morfodinâmica praias”. Criado por Wright & Thom (1977) no final da década de 1970, ele define morfodinâmica costeira como sendo o ajustamento mútuo da topografia e dinâmica dos fluidos envolvendo o transporte de sedimentos. Atualmente, entre os inúmeros conceitos existentes, temos que morfodinâmica praias é um método de estudo que integra observações

morfológicas e dinâmicas numa descrição mais completa e coerente da praia e zona de arrebentação (Calliari *et al.* 2003).

Por décadas, diferentes modelos conceituais de praias têm sido propostos, entre os quais se destacam os modelos das escolas americana (Davis & Fox 1972, Sonu 1973, Fox & Davis 1974, Owens 1977, Sasaki 1980 *in* Carter 1988) e australiana de Geomorfologia Costeira (Wright & Short 1984, Short 1991). Sasaki (1980 *in* Carter 1988) estabeleceu as características principais para três estados morfodinâmicos – dissipativo, intermediário e refletivo – em situações onde dados sobre o clima de ondas não estão disponíveis. Wright & Short (1984) e Short (1991, 1999) classificaram as praias da costa australiana em seis estados morfodinâmicos: um dissipativo, um refletivo e quatro estágios intermediários. O modelo foi baseado nas características do clima de ondas, principalmente através da velocidade de decantação adimensional (Ω) ou parâmetro de Dean (1973). Na tentativa de ampliação dos modelos de estágios morfodinâmicos, Sunamura (1988) realizou uma abrangente revisão dos resultados apresentados por vários outros estudos e, com base nesses trabalhos, sintetizou um modelo evolutivo, aplicável a praias de micromarés dominadas por regimes de média a alta energia e de declividade moderada. O modelo é composto de oito estágios morfodinâmicos: dois limitantes (erosivo e acrescivo) e seis intermediários.

Em estudos independentes, Aagaard (1991) e Short (1992) propuseram modelos de praias de bancos múltiplos baseados em observações de praias dinamarquesas e holandesas, respectivamente. Estes pesquisadores levaram em consideração sequências de desenvolvimento morfológico para sistemas monitorados através de um grande número de fotografias aéreas, dados de ondas e perfis morfológicos regulares. Posteriormente, compilaram os dois estudos em um único trabalho, apresentando um terceiro modelo (Short & Aagaard 1993), que se baseia na sequência de Wright & Short (1984) e introduz o Parâmetro de Banco (B^*) para prever o número de bancos a ser formado em uma praia.

Levando em consideração o fato de que a maior parte dos estudos de morfodinâmica costeira se concentra em ambientes de micromaré, Masselink & Short (1993) e Masselink & Turner (1999) ampliaram as ideias de Wright & Short (1984) e Short (1991), passando a considerar também os efeitos relativos das ondas e marés na morfologia das praias, combinando os modelos preexistentes com o conceito de Davis & Hayes (1984) sobre variação relativa das marés. O resultado foi a criação do modelo empírico RTR (Parâmetro Relativo da Maré), aplicável a ambientes de meso e macromarés.

No Brasil, estudos referentes à morfodinâmica de praias, com ênfase na classificação proposta por Wright & Short (1984), foram implementados pioneiramente por Calliari & Klein (1993) e por Toldo *et al.* (1993) na costa do Rio Grande do Sul. A partir dos estudos na costa gaúcha, diversos pesquisadores adotaram a metodologia proposta por Wright & Short (1984) para caracterizar as praias do litoral brasileiro.

No Rio de Janeiro, Muehe (1998) buscou a criação de um novo parâmetro para se obter um melhor ajuste da equação proposta por Wright & Short (1984) às diferentes condições hidrodinâmicas encontradas ao longo do litoral brasileiro. Monitorando praias no litoral norte do Rio de Janeiro, durante 24 meses, Muehe (1998) concluiu que a duração, a velocidade e a largura da zona de espraiamento mantêm correspondências bem estabelecidas com os estágios morfodinâmicos, e sugere a adoção de um novo parâmetro, denominado de Δ , no qual relaciona as características das ondas na zona de surfe e na face de praia, com a declividade.

Posteriormente, Muehe (2001) estabeleceu critérios de classificação morfodinâmica levando em consideração fatores como: capacidade de mobilidade dos sedimentos de fundo marinho; deslocamento dos sedimentos perpendicular à costa e a resposta morfológica dos mesmos na porção emersa do litoral; efeitos da erosão, transporte e acumulação resultantes do processo de mobilidade sedimentar, e classificação segundo a exposição das ondas e o grau de exposição do segmento costeiro considerado. Na orla de Maricá/RJ, Lins-de-Barros (2005) incorporou os conceitos de morfodinâmica costeira e dos estágios morfodinâmicos a seus estudos, com o intuito de definir índices de vulnerabilidade física à erosão costeira, bem como a influência destes em impactos socioeconômicos na região de Maricá.

Na costa de Santa Catarina, destacam-se os trabalhos de Hoefel & Klein (1998), Klein *et al.* (2003) e Berribili *et al.* (2007). Esses autores correlacionam as mudanças na morfodinâmica praial com perigos associados ao banho de mar. O mesmo enfoque foi dado por Carvalho (2002) no litoral baiano, onde também foi incorporada a classificação proposta por Wright & Short (1984). No Paraná, Rosa & Borzone (2008) utilizaram os índices Ω e RTR para caracterizar os estágios morfodinâmicos de praias estuarinas da baía de Paranaguá. Na ocasião do estudo, os pesquisadores discutem que elevados valores de RTR foram encontrados e que, em comparação aos grupos morfológicos encontrados, eles não correspondiam totalmente às morfologias observadas.

Na região Norte do Brasil, Alves & El-Robrini (2004) aplicaram os parâmetros RTR e Ω para caracterizar o comportamento das praias de Ajuruteua e Bragança, ambas caracterizadas por um regime de macromaré. As duas localidades foram descritas por apresentar perfis dissipativos, com duas linhas de quebra indicando a presença de bancos arenosos paralelos à costa. Segundo os pesquisadores, essa morfologia é afetada por eventos de alta energia, marés de sizígia equinociais, associadas com fortes ondas. Estudos realizados por Monteiro *et al.* (2009), em Ajuruteua, também caracterizam a localidade como sendo dissipativa, segundo os parâmetros RTR e Ω .

No litoral pernambucano, Manso *et al.* (2001) obtiveram bons resultados relacionando o comportamento dos diferentes estágios morfodinâmicos aos processos erosivos e taxas de aporte sedimentar na praia de Serinhaém. Em contrapartida, no litoral do Ceará, Maia (1998), Morais *et al.* (2001) e Moura (2009) fizeram uso do parâmetro Ω para caracterizar o

comportamento das praias cearenses nos seis estágios morfodinâmicos propostos por Wright & Short (1984).

Para ambientes de meso e macromarés, no caso do Brasil (litoral norte e nordeste), Short (1999) discute que a aplicação do parâmetro Ω não é suficiente para caracterizar o comportamento morfodinâmico. Short (1999) aponta que as condições apresentadas pelo ambiente a partir do parâmetro Ω , em localidades com grande amplitude de maré, não condizem com as que demonstram as reais condições morfodinâmicas, sendo necessário incorporar o fator variação da amplitude da maré para se obter uma classificação mais satisfatória.

A partir do exposto, o presente estudo tem como objetivo avaliar o comportamento morfodinâmico da praia do Futuro, em Fortaleza-CE, tendo por base a classificação proposta por Masselink & Short (1993). Fundamenta-se no fato de a localidade em questão apresentar grande variabilidade sedimentar ao longo de sua orla, com a presença de sedimentos bimodais e polimodais, além de uma topografia tridimensional bem-desenvolvida, e no fato de todos os pontos monitorados nesse estudo estarem sujeitos ao mesmo regime hidrodinâmico.

2. Caracterização da Área em Estudo

A praia do Futuro possui 8 km de extensão, sendo sua área limitada pela desembocadura do rio Cocó e pelo espigão do Titânzinho (figura 1). A localidade é caracterizada por um regime de mesomaré com variação relativa da amplitude de maré em torno de 3,1m. O ambiente está inserido na planície litorânea com predomínio de areias quartzozas, que apresentam caráter bimodal e polimodal ao longo da costa. Na desembocadura do rio Cocó observa-se também a presença de arenitos de praia de origem fluvio-marinha, cimentados pela precipitação do carbonato de cálcio, devido às diferenças de saturação das águas doce e salgada (Morais 1981). A localidade está submetida a influências da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, com predomínio dos ventos alíseos de NE e SE, com variação sazonal. Em relação ao comportamento das ondas, direção e intensidade das correntes costeiras no litoral de Fortaleza, medições realizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH), a partir de uma bóia *waverider* instalada a 16m, no porto do Mucuripe, entre 1991 e 1994 (Maia 1998), demonstraram que as ondas apresentam uma tendência de distribuição de suas componentes em três direções: E, E-NE e E-SE. Em relação às correntes costeiras, as mesmas são paralelas à costa, com valores de velocidade variando entre 0,24 e 0,31m/s, e normal à costa, com velocidades entre 0,23 e 0,58m/s.

Para este estudo, a praia do Futuro foi dividida em sete pontos de monitoramento, sendo estes redistribuídos em três setores. A escolha pela subdivisão dos pontos em setores foi atribuída ao fato de a localidade apresentar, ao longo de sua extensão, uma grande variabilidade granulométrica que vai desde areia grossa (nas localidades próximas à desembocadura do rio Cocó), passando por areia média (na porção intermediária da

praia) até areia fina (nas localidades próximas ao espigão do Titânzinho).

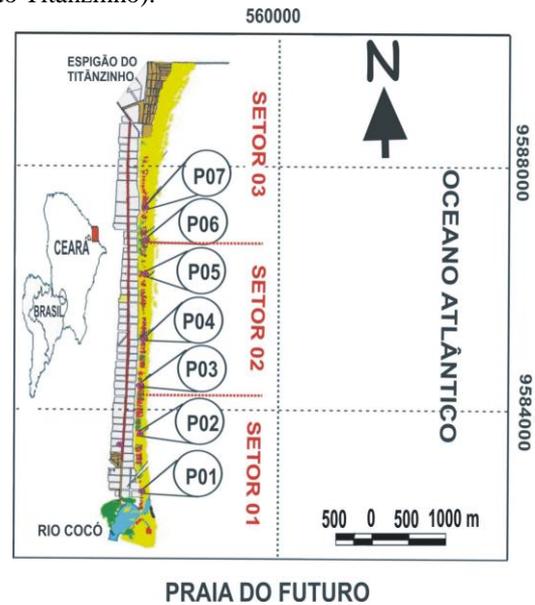


Figura 1: Mapa de localização da área em estudo

3. Materiais e Métodos

As variações na morfodinâmica foram quantificadas através de perfis topográficos realizados entre setembro de 2004 e março de 2006, totalizando nove levantamentos. Para tal, foram aplicados os métodos propostos por Birkemeier (1985), com auxílio de uma estação total, um prisma e uma bússola de geólogo para o alinhamento dos perfis. As leituras foram realizadas nos pontos de inflexão dos setores praias (pós-praia, estirância e antepraia) e/ou nas variações conspícuas da morfologia praial. As cotas iniciais dos perfis foram definidas a partir do zero estabelecido pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), e os valores de declividade da face de praia foram obtidos através de um clinômetro previamente calibrado em laboratório. Os parâmetros morfométricos – ϕ_{yb} (índice de mobilidade da praia) e CV (coeficiente de variação da largura média da praia) – excelentes indicadores da mobilidade sofrida pelo ambiente praial (Short & Hesp 1982), também foram requeridos para uma melhor caracterização do ambiente.

Os dados referentes à altura significativa das ondas (H_s) e período de pico (T) foram obtidos utilizando o método de observação visual de ondas (Melo 1993), buscando aprimorar a escala métrica visual das medições de altura significativa (H_s) posicionando na zona de arrebatção uma mira topográfica de 5m. Observações sucessivas foram realizadas com o intuito de retirar um universo amostral significativo de dados. Em relação às medições de período de pico das ondas (T_p), um cronômetro digital foi utilizado para registrar a passagem de onze ondas em um determinado campo de visão, sendo o tempo de passagem dessas onze ondas dividido por dez, para se obter o valor do período da onda. Esse procedimento é realizado quantas vezes forem necessárias, e, a partir do universo amostral de dados, são extraídos os três valores mais significativos (T_p). O

método de observação visual, difundido como *Littoral Environment Observation* (Schneider & Weggel 1982, Sherlock & Szuwalski 1987, Smith & Wagner 1991), pode apresentar erros de super e subestimação, respectivamente, do Hs e do T, como demonstrado por Plant & Griggs (1992). Contudo, é considerada importante fonte de informação para suprir qualitativamente trabalhos na zona costeira.

Em relação à classificação morfodinâmica, observou-se que o modelo proposto por Wright & Short (1984) não se aplicava integralmente à praia do Futuro, tendo em vista que a localidade apresenta variação em amplitude de maré. Nesse sentido, optou-se pelo Parâmetro Relativo da Maré (Masselink 1994), modelo utilizado para classificação de ambientes de meso e macromarés. O RTR (Eq. 1) leva em consideração as variações na amplitude da maré de sizígia (TR) em relação à altura das ondas na zona de arrebentação (Hb). A partir dessas variáveis temos que:

$$RTR = \frac{TR}{H_b} \quad (1)$$

Para alguns valores de RTR (tabela 1), faz-se necessário recorrer ao Parâmetro Adimensional Ômega (Eq. 2) ou Parâmetro de Dean (1973) para que haja uma diferenciação no tipo de estágio morfodinâmico.

$$\Omega = \frac{\omega_s}{H_b \times T} \quad (2)$$

Para valores de RTR<7 e Ω=3, tem-se o estágio intermediário banco/corrente de baixa-mar, e para RTR<15 e Ω=5, o estágio morfodinâmico ultradissipativo. Para valores de RTR<3, Masselink (1993) comenta que as condições do ambiente praiial são semelhantes às observadas na classificação proposta por Wright & Short (1984), e pode-se, nesse caso, fazer uso da mesma para caracterizar o ambiente praiial. Para valores de RTR>15, o ambiente praiial passa a transitar para um estágio de planície de maré, e neste estudo essa situação não é observada. No modelo conceitual de Masselink (1994), o estágio morfodinâmico é função do Parâmetro Adimensional Ômega (Ω) e da Amplitude Relativa da Maré (RTR).

Tabela 1: Caracterização dos diferentes tipos de estágios morfodinâmicos a partir do Parâmetro Relativo da Maré.

Amplitude Relativa da Maré	Grupo	Tipo de Praia
RTR<3	Onda dominante	1. Reflectivo 2. Intermediária 3. Dissipativa
3<RTR<15 *(2) RTR<7 *(5) RTR<15	Interação onda-maré	4. Terraço de baixa-mar 5. Banco/corrente de baixa-mar 6. Ultradissipativa
RTR>15	Maré dominante	7. Transicional (praia para planície de maré)

FONTE: Adaptado de Masselink & Short (1993)

Para o cálculo de ômega (Ω), os valores de velocidade média de decantação das partículas sedimentares (ωs) foram extraídos da tabela de Raudkivi (1990) – a mesma foi calculada a partir da equação de Gibbs *et al.* (1971), aferindo-se o cálculo de correções para grãos naturais através da equação de Baba & Komar (1981). Escolheu-se a tabela de Raudkivi (1990) em virtude de Pinheiro (2000) ter-se utilizado da mesma em seus estudos na praia da Caponga, litoral leste do estado do Ceará.

4. Resultados e Discussões

4.1 Morfodinâmica do setor 01

O setor 01 engloba os pontos P01 e P02. O ponto 01 apresentou uma extensão máxima do perfil de 190m, com ondas incidindo obliquamente à costa com um ângulo de 88°, provenientes de E-SE, e altura significativa variando entre 0,4m e 1,3m com valor médio de 0,93m. O período médio das ondas foi de 7,21s; afloramentos de arenitos de praia são presentes na zona de espraiamento inferior e na porção inicial da zona de surfe deste ponto. Em relação ao estágio morfodinâmico, a localidade enquadrou-se no estado intermediário terraço de baixa-mar, com tendências ao estágio reflectivo e presença de sedimentos polimodais.

Os valores de RTR oscilaram entre 2,0 e 4,6, e o parâmetro ômega variou entre 0,93 e 6,97. O perfil (figura 2) apresentou uma variação média de volume de 14,13 m³/m, e as maiores variações no pacote foram registradas entre setembro e janeiro de 2004, e maio de 2005, principalmente na região do estrâncio. Os tipos de arrebentação observados foram as formas mergulhante e ascendente.

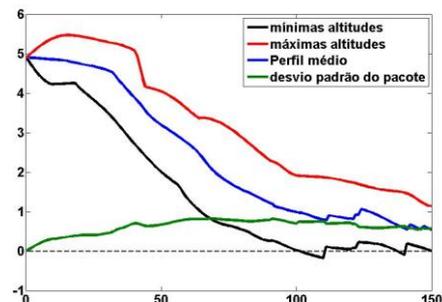


Figura 2:- Variação do pacote de perfis no ponto 01

O ponto 02 (figura 3) apresentou uma extensão máxima do perfil de 180m, com ondas incidindo obliquamente à costa com um ângulo de 81° provenientes de E-SE; altura significativa variando entre 0,4m e 1,1m e altura média de 0,81m. O período médio das ondas foi de 6,68s (figura 4), e o tipo de arrebentação

registrada foi a forma deslizante. Em relação ao estágio morfodinâmico, o P02 enquadrou-se no estágio terraço de baixa-mar em todos os monitoramentos. Os valores de RTR oscilaram entre 2,0 e 3,86, e a variação média do pacote de perfis foi de 12,76m³/m, no estirâncio médio, entre 82m e 97m.

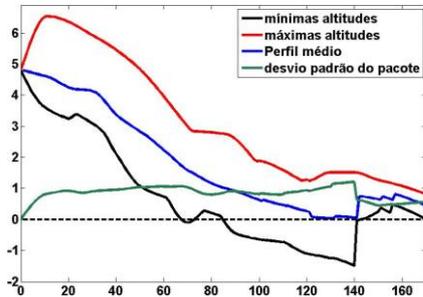


Figura 3:- Variação do pacote de perfis no ponto 02

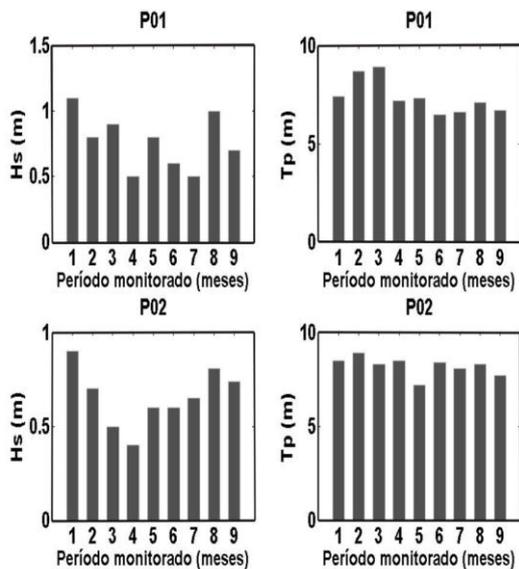


Figura 4: Valores de altura significativa e período de pico no setor 01

A porção superior do perfil é dominada por processos de espraiamento, na preamar, enquanto uma combinação dos processos da zona de surfe e de espraiamento controlam a morfodinâmica da zona entre marés, resultando na formação de bancos arenosos nessa porção da praia. Esses bancos assumem a função de um terraço de baixa-mar no período de maré vazante.

4.2 Morfodinâmica do setor 02

O setor 02 é caracterizado pelos pontos P03, P04 e P05. Os sedimentos dessas localidades são do tipo areia média bimodal. O ponto 03 apresentou uma extensão máxima do perfil de 185m com ondas incidindo obliquamente com um ângulo de 15° E-SE em relação à normal com a costa, e altura significativa variando entre 0,4m e 1,2m com altura média de 0,82m e período médio das ondas de 6,46s. Em relação ao estágio morfodinâmico, o P03 enquadrou-se nos estados intermediários barra transversal, nos meses de novembro de 2004, janeiro e setembro de 2005; e no estado banco/corrente de baixa-mar no mês de julho de 2005. Os valores de RTR oscilaram entre 3,1 e 8,66 e o

parâmetro ômega variou entre 0,2 e 1,3. A variação média do pacote de perfis (figura 5) foi de 10,07m³/m; as principais variações são registradas a 50m e 55m e entre 120m e 140m. A primeira porção é caracterizada pela formação de pequenas escarpas na interface entre o berma e o estirâncio, e são mais evidentes entre os meses de maio e setembro.

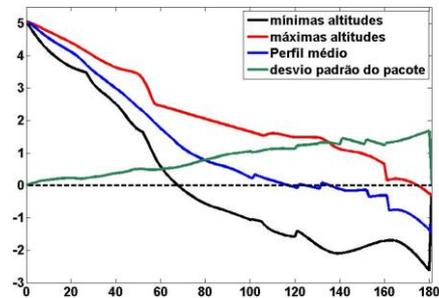


Figura 5: Variação do pacote de perfis no ponto 03

O ponto 04 apresentou uma extensão máxima do perfil de 170m, com ondas incidindo obliquamente à costa com um ângulo de 101° provindo de E-SE, e altura significativa variando entre 0,3m e 1,1m, altura média de 0,86m e período médio das ondas de 6,92s. Em relação ao estágio morfodinâmico, a localidade enquadrou-se no estado intermediário barra transversal, nos meses de setembro a janeiro de 2004-2005, e no estado banco/corrente de baixa-mar no restante dos monitoramentos. Os valores de RTR oscilaram entre 2,3 e 5,6 e o parâmetro ômega variou entre 3,83 e 7,6. O volume médio do pacote de perfis foi de 9,07m³/m, e os maiores picos foram registrados entre 130m e 150m, com grande variabilidade na posição dos bancos arenosos nessa porção do perfil (figura 6); essas feições subaquosas são mais evidentes nos meses de setembro e janeiro.

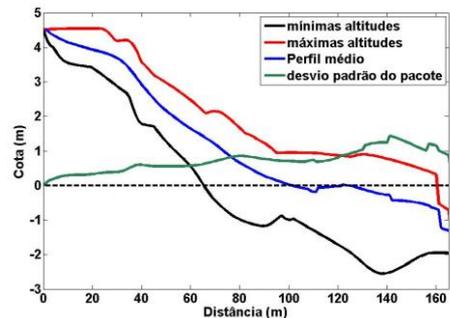


Figura 6: Variação do pacote de perfis no ponto 04

O ponto 05 apresentou uma extensão máxima do perfil (figura 7) de 198m, com ondas incidindo obliquamente à costa com um ângulo de 95° proveniente de E-SE, e altura significativa das ondas variando entre 0,5m e 0,95m, altura média de 0,73m e período médio das ondas de 6,95s (figura 8). Em relação ao estágio morfodinâmico, a localidade enquadrou-se no estado intermediário barra transversal nos meses de setembro e novembro de 2004-2005, e no restante dos monitoramentos no estado banco/corrente de baixa-mar. Os valores de RTR oscilaram entre 2,0 e 4,6 e o

parâmetro ômega variou entre 0,93 e 6,97 com variação média do volume do pacote de 10,02m³/m.

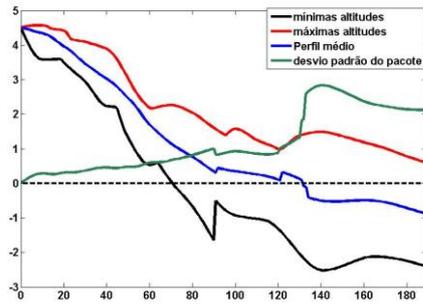


Figura 7:- Variação do pacote de perfis no ponto 05

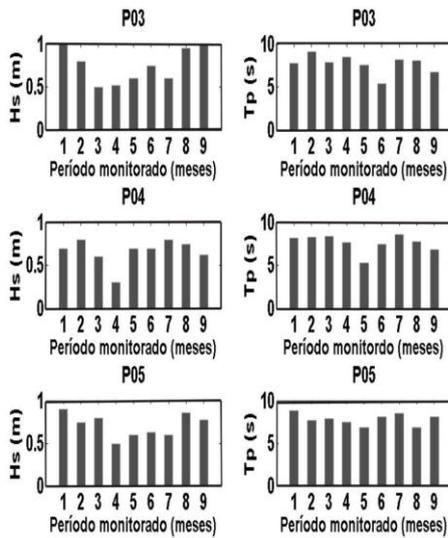


Figura 8: Valores de altura significativa e período de pico no setor 02

Durante o período de preamar, o P05 assume um caráter similar ao estágio refletivo – o perfil apresenta uma acentuada inclinação e a formação de feições escarpadas entre o estirâncio superior e a berma (figura 9). Em relação aos tipos de arrebenção predominantes no setor 02, a forma deslizante e ascendente, na baixa-mar, e mergulhante nos períodos de preamar foram os principais tipos identificados.

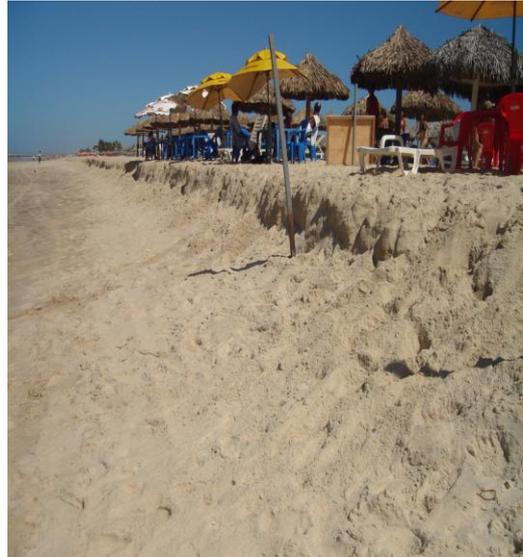


Figura 9: Perfil escarpado no ponto 05 (Foto: Miguel Albuquerque)

4.3 Morfodinâmica do setor 03

O ponto 06 apresentou uma extensão máxima do perfil de 180m (figura 10), com ondas incidindo obliquamente à costa com um ângulo de 89° provenientes de E-SE e altura significativa das ondas variando entre 0,4m e 1,2m; altura média de 0,83m e período médio de 6,73s. O volume médio do pacote de perfis sofreu variação de 9,74m³/m com os maiores picos de variação entre 70m e 80m, principalmente na região do estirâncio médio e inferior.

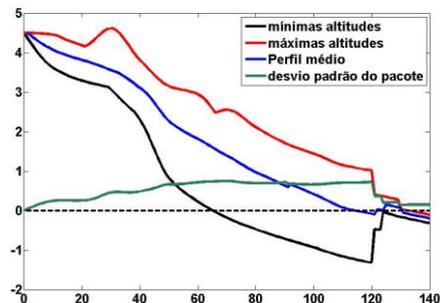


Figura 10: Variação do pacote de perfis no ponto 06

No ponto 07, a extensão máxima do perfil (figura 11) ficou em torno de 197m com ondas incidindo obliquamente com um ângulo de 14° E-SE em relação à normal com a costa, e altura significativa das ondas variando entre 0,4m e 1,1m; altura média de 0,75m e período médio de 6,87s (figura 12). A variação média do volume no pacote foi de 13,79m³/m, com maior variabilidade registrada no estirâncio inferior, entre 120m e 135m.

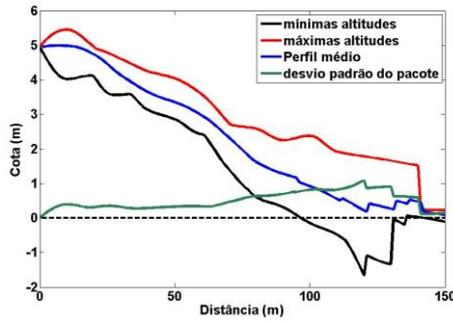


Figura 11: Variação do pacote de perfis no ponto 07

Em relação ao estágio morfodinâmico, o setor 03 enquadrou-se no estágio ultradissipativo, o qual apresenta uma arrebentação deslizante por todo o ciclo de maré (Jago & Hardisty 1984) e uma zona de surfe dissipativa, caracterizada por múltiplas linhas de quebra e um perfil largo de baixo gradiente.

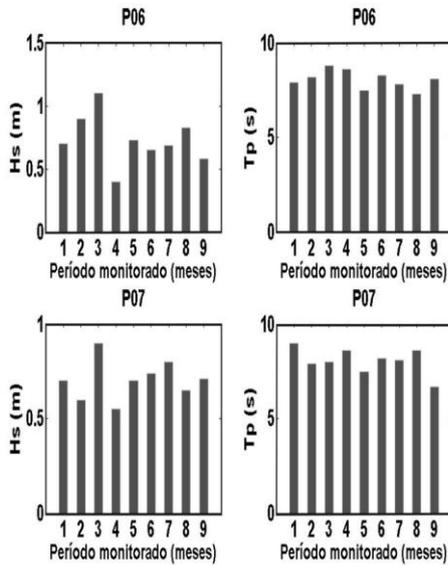


Figura 12: Valores de altura significativa e período de pico no setor 03

Tabela 2: Caracterização dos parâmetros morfométricos de amostragens sazonais

	Ponto 01	Ponto 02	Ponto 03	Ponto 04	Ponto 05	Ponto 06	Ponto 07
N	10	10	10	10	10	10	10
Hb (m)	0,93	0,81	0,82	0,86	0,73	0,83	0,69
T (s)	7,21	6,68	6,46	6,92	6,95	6,73	8,04
D	4,29	3,58	3,21	2,28	1,74	1,72	1,1
Mz (phi)	0,7907	1,067	1,330	1,276	1,446	1,271	1,341
Yb (m)	28,88	36,66	45,66	33	25,33	21,33	21,44
σYb (m)	17,52	27,27	34,65	23,65	17,26	13,43	17,05
CV (%)	60,66	74,37	75,87	71,69	68,14	62,97	79,51
Vv (m ³ /m)	14,13	12,76	10,07	9,07	10,2	9,74	13,79

Fonte: Albuquerque (2008)

Nota: N = número de levantamentos; Hb = altura da arrebentação; T = período das ondas; D = declividade; Mz = diâmetro médio em phi; Yb = largura média da praia; σYb = índice de mobilidade da praia; CV = índice de mobilidade do pós-praia; Vv = variação do volume acima do datum.

Pereira (2005) destaca que o índice de mobilidade da praia está associado a localidades que apresentam feições com bancos rítmicos. Praias de areia média são mais tridimensionais e apresentam altos valores de σYb e índice de mobilidade do pós-praia (CV). No monitoramento realizado na praia do Futuro, o valor de CV para o ponto 03 está entre os maiores registrados ao

5. Variação dos parâmetros morfométricos

A mobilidade de uma praia pode ser medida em termos do desvio-padrão da posição média da linha de costa (Dolan *et al.*, 1978) e da mobilidade do pós-praia, aqui definido como coeficiente da variação da posição média da linha de costa. Baixos valores indicam baixa mobilidade, e altos valores uma praia móvel; portanto, alta susceptibilidade para episódios erosivos/acrescivos. Os maiores índices de mobilidade (σYb) são registrados no ponto 03 (tabela 2), caracterizados por uma granulometria predominantemente média e bimodal. Os padrões encontrados na praia do Futuro, para o índice de mobilidade da praia, seguem a mesma tendência de resposta praial apresentada nos estudos realizados por Calliari & Klein (1993) e Pereira (2005), na costa do Rio Grande do Sul, Carvalho (2002), no litoral baiano, e Morais *et al.* (2001), no litoral cearense, indicando que praias intermediárias, de sedimentos médios bimodais, possuem maior índice de mobilidade.

longo da costa (75,87%). No que diz respeito ao índice de mobilidade do pós-praia, os maiores valores foram registrados no P07.

Bryant (1982) discute as relações entre o tamanho do sedimento e a mobilidade praial: praias dissipativas, tipicamente arenosas, exibem rápidas variações texturais e de transporte; em contrapartida, nas praias reflectivas,

compostas de sedimentos mais grosseiros, o transporte é mais limitado. Praias de baixa declividade são caracterizadas por extensas zonas de surfe; em contrapartida, praias inclinadas raramente possuem zona de surfe e predominantemente refletem a energia das ondas.

6. Conclusões

O estudo conclui que os pontos localizados no setor 02, caracterizados por sedimentos de granulometria média, apresentam maior variabilidade no pacote de perfis, principalmente nas regiões do estrâncio inferior e na zona de surfe. Os pontos foram enquadrados no estágio intermediário barra transversal, no período compreendido entre março e junho, e no restante do ano assumem a conformação de um banco/corrente de baixamar. Em ambos os estágios, os perfis apresentam formação de bancos arenosos e canais bem-definidos.

No setor 01, caracterizado por uma granulometria grossa, o perfil apresenta um comportamento mais reflectivo entre os meses de março a junho, e um comportamento mais intermediário, tendendo para estágios mais reflectivos, no restante do ano. O surgimento de sedimentos de granulometria grossa pode estar associado ao processo de erosão dos arenitos de praia, por ação de intemperismo físico e químico, ou, esses sedimentos mais grossos podem ser oriundos de áreas fontes localizadas na antepraia.

No setor 03, os perfis foram caracterizados como ultradissipativos no período compreendido entre janeiro e julho, sendo no restante do ano enquadrados no estágio dissipativo. Pequenos bancos arenosos e canais de baixa profundidade são detectados, principalmente na zona de surfe do ponto 07.

Em relação aos valores de altura significativa e período de ondas, as amostragens demonstram que os maiores picos de variação são caracterizados nos pontos que apresentam estágios morfodinâmicos intermediários, com arrebentação do tipo ascendente e mergulhante.

Os resultados apontam uma boa adequação do Parâmetro Relativo da Maré, na caracterização morfodinâmica da praia do Futuro. Em praticamente todos os levantamentos, durante o período de baixamar, os pontos monitorados apresentaram boa resposta se comparados às características apresentadas pelo modelo empírico RTR. No período de preamar, os perfis assumem características muito próximas ao estágio reflectivo, com exceção do ponto 07, que permanece com tendências ao estágio dissipativo.

Em relação à mobilidade do perfil, os maiores índices de mobilidade praial foram registrados no ponto 03, caracterizado por uma granulometria média ($\sigma_{Yb}=34,65m$). Em contrapartida, os maiores índices de mobilidade do pós-praia ($CV=79,51\%$) e variação de volume ($V_v=13,79m^3/m$) foram registradas no ponto 07, classificado como ultradissipativo.

O conhecimento do comportamento morfodinâmico de uma praia e o acompanhamento espaço-temporal dos ciclos de erosão/deposição desse ambiente proporcionam uma melhor compreensão da variabilidade sazonal do

ambiente praial, bem como a resposta deste às diferentes condições oceanográficas às quais o litoral é exposto.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica –LGCO, da Universidade Estadual do Ceará, pelo apoio logístico, e ao CNPq, pela concessão da bolsa de Doutorado.

Referências Bibliográficas

- Aagaard T. 1991. Multiple-bar morphodynamics and its relations to low frequency edge waves. *Journal of Coastal Research*, 7: 801-813.
- Albuquerque M.G. 2008. Morfodinâmica da praia do Futuro, Fortaleza-CE. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande, 147p.
- Alves M.A.M., El-Robrini, M. 2004. Morphodynamics of a macrotidal beach: Ajuruteua, Bragança North Brazil. *Journal of Coastal Research*, 39(SI): 949-951.
- Baba J., Komar P.D. 1981. Measurements and analysis of settling velocities of natural quartz sand grains. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51(2): 631-640.
- Berribili M.P., Klein A.H.F., Menezes J.T. 2007. Riscos associados ao banho de mar. Estudo de caso da praia do Atalai, SC. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 7: 97-105.
- Birkemeier W.A. 1985. A User's guide to ISRP: The interactive survey reduction program. Instructions Report CERC 84-11. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Stations. Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi, 101p.
- Bryant E.A. 1982. Behavior of grain size characteristics on reflective and dissipative foreshores, Broken Bay, Australia. *Journal of Sedimentary Petrology*, 52: 431-450.
- Calliari L.J., Klein A.H.F. 1993. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. *Pesquisas*, 20(1): 48-56.
- Calliari L.J., Muehe D., Hoefel F.G., Toldo Jr. E.E. 2003. Morfodinâmica praial: uma breve revisão. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 51: 63-78.
- Carter R.W.G. 1988. Coastal Environments: na introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines. Academic Press, London, 617p.
- Carvalho M.P. 2002. Fatores meteorológicos, oceanográficos, morfodinâmicos, geológicos e urbanos relacionados a incidência de afogamentos nas praias da costa atlântica de Salvador. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, 167p.
- Davis Jr. R.A., Fox W.T. 1972. Coast processes and nearshore sand bars. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51: 401-412.
- Davis Jr. R.A., Hayes M.O. 1984. What is a wave-dominated coast? *Marine Geology*, 60: 313-329.
- Dean R.G. 1973. Heuristic models of sand transport in the surf zone. *Proceedings of the International Conference on Coastal Engineering Dynamics in the Surf Zone*, Sidney, N.S.W., 208214.
- Dolan R., Hayden B., Heywood J. 1978. A New photogrammetric method for determining shoreline erosion. *Coastal Engineering*, 2: 21-39.
- Fox W.T., Davis R.A. 1974. Simulation model for storm cycles and beach erosion on lake Michigan. *Geological Society of America Bulletin*, 89: 1541-1549.
- Gibbs R.T., Mathew M.D., Link D.A. 1971. The relationship between size and sorting velocity. *J. Sedim. Petrology*, 41: 07-18.
- Hoefel F.G., Klein A.H.F. 1998. Environmental and social decision factors of beach safety in the central northern coast of Santa Catarina, Brazil. *Notas Téc. FACIMAR*, 2: 155-166.
- Jago C.F., Hardisty J. 1984. Sedimentology and morphodynamics of a macrotidal beach, Pendine Sands, SW Wales. *Marine Geology*, 60: 123-154.
- Klein A.H.F., Santana G.G., Diehl F.L., Menezes J.T. 2003. Analysis of hazards associated with sea bathing: results of the five years work in oceanic beaches of Santa Catarina state, southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, 35(SI): 107-116.
- Lins-De-Barros F.M. 2005. Risco, vulnerabilidade física à erosão costeira e impactos sócio-econômicos na orla urbanizada do

- município de Maricá, Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 2: 83-90.
- Maia L.P. 1998. Processos costeros y balance sedimentário ao largo de Fortaleza (NE Brasil): implicaciones para uma gestion adecuada de La zona litoral. Tese de Doutorado. Universidade de Barcelona – Espanha, 269p.
- Manso V.A.V., Toldo Jr E.E., Medeiros C., Almeida L.E.S.B. 2001. Perfil de equilíbrio da praia de Serinhaém, Pernambuco. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 2(1): 45-49.
- Masselink G. 1993. Simulating the effects of tides on beach morphodynamics. *Journal of Coastal Research*, SI 15: 180-197.
- Masselink G., Short A.D. 1993. The effect of tide range on beach morphodynamics. A conceptual beach model. *Journal of Coastal Research*, 9: 785-800.
- Masselink G. 1994. Morphodynamics of macrotidal beaches: examples from central Queensland, Australia. PhD Thesis, Coastal Studies Unit, University of Sydney, 272p.
- Masselink G., Turner I. 1999. The effect of tides on beach morphodynamics. In Short A.D. (ed) *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. West Sussex, UK: Wiley, 379p.
- Melo E. 1993. The sea sentinels project: watching waves in Brazil. *Coastal Zone 1993, the 8th Symposium on Coastal and Ocean Management*, pp. 505-517.
- Monteiro M.C., Pereira L.C.C., Oliveira M.O. 2009. Morphodynamic change of a macrotidal sand beach in the Brazilian Amazon Coast (Ajuruteua-Pará). *Journal of Coastal Research*, 56(SI): 103-107.
- Morais J.O. 1981. Evolução sedimentológica da enseada do Mucuripe – Fortaleza, Ceará – Brasil. *Arquivo Ciências do Mar*, 21(1/2): 19-46.
- Morais J.O., Pinheiro L.S., Silva L.P. 2001. Riscos Hidrodinâmicos sazonais versus balneabilidade da praia do Futuro – CE. *Revista de Ciência e Tecnologia da UECE. Fortaleza*, 3(2): 59-65.
- Moura M.R. 2009. Processos costeiros e evolução da ocupação nas praias do litoral oeste de Aquiraz, Ceará entre 1970 e 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Ceará, 137p.
- Muehe D. 1998. Estado morfodinâmico praias no instante da observação: uma alternativa de identificação. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 46(2): 157-169.
- Muehe D. 2001. Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 2(1): 35-44.
- Owens E.H. 1977. Temporal variation in beach and nearshore dynamics. *Journal of Sedimentary Petrology*, 47:168-190.
- Pereira P.S. 2005. Variabilidade da orla oceânica do Rio Grande do Sul e suas implicações na elaboração de planos de contingência: aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e geomorfológicos. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande, 161p.
- Pinheiro L.S. 2000. Compatibilização dos processos morfodinâmicos e hidrodinâmicos com o uso e ocupação da praia da Caponga - Cascavel – CE. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Ceará, 164p.
- Plant N.G., Grigs G.B. 1992. Comparison of visual observation of wave height and period to measurements made by offshore slope array. *Journal of Coastal Research*, 8(4): 957-965.
- Raudkivi A.J. 1990. *Loose boundary hydraulics*. Ed. Pergamon – UK, 3ª ed.
- Rosa L.C., Borzone C.A. 2008. Uma abordagem morfodinâmica na caracterização física de praias estuarinas da Baía de Paranaguá, Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(2): 237-245.
- Sasaki T.O. 1980. *Proceedings of Coastal Zone'80*, ASCE: 3197-3209.
- Schneider C., Weggel J.R. 1982. The littoral environment observation (LEO), data summaries. Coastal Engineering Research Center, Coastal Engineering Technical Aid 81-5.
- Sherlock A.R., Szuwalski A. 1987. A User's guide to the littoral environment observation retrieval system. Coastal Engineering Research Center, Instruction Report 87-3.
- Short A.D., Hesp P.A. 1982. Wave beach and dune interactions in southeast Australia. *Marine Geology*, 48: 259-284.
- Short A.D. 1991. Macro – meso tidal beach morphodynamics – An overview. *Journal of Coastal Research*, 7: 417-436.
- Short A.D. 1992. Beach systems of the central Netherlands coast: processes, morphology and structural impacts in a storm driven, multi-bar system. *Marine Geology*, 107: 103-137.
- Short A.D., Aagaard T. 1993. Single and multi-bar beach change models. *Journal of Coastal Research*, SI 15: 141-157.
- Short A.D. 1999. Beach hazards and safety. In: Short A.D. (ed) *Handbook of Beach Shoreface Morphodynamics*. John Wiley & Sons, 293-303 p.
- Smith E.R., Wagner S.E. 1991. Littoral environment observation program. *Journal of Coastal Research*, 7(3): 595-605.
- Sonu C.J. 1973. Three – dimensional beach changes. *Journal of Geology*, 81: 42-64.
- Sunamura T. 1988. Beach morphologies and their change. In: Horikawa K., (ed) *Nearshore Dynamics and Coastal Processes*, University of Tokyo Press, 133-166p.
- Toldo E.E., Dillenburg S.R., Almeida L.E.S.B., Tabajara L.L., Martins R., Cunha L.O.B.P. 1993. Parâmetros morfométricos da praia de Imbé, RS. *Pesquisas*, 20(1): 27-32.
- Wright L.D., Thom B.G. 1977. Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach. *Progress in Physical Geography*, 1: 412-459.
- Wright L.D., Short A.D. 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, 56: 93-118.
- Zeigler J.M., Hayes C.R., Tuttle S.D. 1959. Beach changes during storms on outer Cap Cod, Massachusetts. *Journal of Geology*, 67: 318-336.

Recebido 30 de abril 2009
Aceito 03 de setembro 2009