

ESTUDO MORFODINÂMICO DA PRAIA DO FUTURO, MUNICÍPIO DE FORTALEZA, ESTADO DO CEARÁ, BRASIL

A morphodynamic study of the Futuro Beach,
Fortaleza county, Ceará State, Brazil

Paulo Roberto Ferreira Gomes da Silva¹, Loreci Gislaíne de Oliveira Lehugeur²,
Helano Regis da Nóbrega Fonteles³, José Gonzaga da Silva¹

RESUMO

O estudo da dinâmica litorânea de um trecho do litoral da cidade de Fortaleza é apresentado neste trabalho através da análise de perfis praias, que foram realizados ao longo de doze meses entre 06/95 e 05/96, através de levantamentos topográficos. A análise desses perfis de acordo com a classificação proposta por Wright & Short (1984), para os estádios morfodinâmicos da zona de praia e surfe, revelou a presença dos estádios reflectivo, intermediário para reflectivo e dissipativo. A aplicação do coeficiente de rebentação apresentado por Galvin Jr. (1968), indicou o tipo de rebentação deslizante. A declividade da zona de praia está caracterizada por um baixo gradiente em direção a ante-praia mudando, apenas, nos meses de setembro de 1995 (Perfil 2) e março de 1996 (Perfil 1) quando se formaram terraços no pós-praia. A altura de quebra das ondas apresentou pequena variação com valores entre 0,152 e 0,192m, não exercendo, dessa forma, influência na variação da morfologia dos perfis praias. A cobertura arenosa dessa área está bem caracterizada pela presença de sedimento do tamanho areia fina a média.

Palavras-chaves: *dinâmica litorânea, perfis praias, estádios morfodinâmicos.*

ABSTRACT

The study of the coastal dynamic of a part of the shore of Fortaleza city, Northeastern Brazil, is presented in this paper using the shore profile analysis that was done during a year between the months of July/1995 and May/1996. The field work was based on topographic surveys, sampling the shoreface sediments and observations of the wind's velocity and direction. The shore profiles analysis was that according to Wright & Short's (1984) classification. It revealed the presence of reflective, intermediate to reflective and dissipative stages. The application of Galvin Jr.'s (1968) breaking coefficient showed a spilling breaking beach type for the studied area. The beach zone slope is characterised by a low topographic gradient towards to foreshore, changing only during the months of September, 1995 (Profile 2) and March, 1996 (Profile 1) when the sandy shore terraces were observed. The wave breaking height presented a small variation with a range of 0.152 to 0.192m. These aspects did not influence the morphology of the shore profiles. The sandy recovery of the studied area is well characterised by the presence of quartzous sand sediments with medium to fine sand.

Key words: *coastal dynamic, shore profiles, morphodynamic stages.*

¹ Pesquisador da Divisão de Oceanografia Abiótica do Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Av. da Abolição, 3207, Fortaleza, CE 60165-081.

² Professor Adjunto do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Fortaleza.

³ Geólogo, consultor em Meio Ambiente e Geotecnia.

INTRODUÇÃO

O estudo da dinâmica da zona costeira é de suma importância, devido ser uma região que representa o limite entre o continente e o oceano, corresponde a uma zona onde interagem os processos marinhos, continentais e atmosféricos. Essa interação de processos conduz a variações na morfodinâmica desse ambiente, traduzida em um conjunto de formas deposicionais que em resposta aos processos hidrodinâmicos apresenta uma variabilidade temporal.

Este trabalho é relativo ao estudo da morfodinâmica costeira de uma praia arenosa, situada no Município de Fortaleza/CE, conhecida popularmente como a "Praia do Futuro", com extensão aproximada de 8 km está limitada a sudeste pelo Rio Cocó e a noroeste pelo molhe do Titã (figura 1). A costa do município, por sua vez, é limitada a sudeste pelo Rio Pacoti e a oeste pelo Rio Ceará. Entre a desembocadura do Rio Pacoti a ponta do Mucuripe o litoral é retilíneo, com orientação SE-NW, entre a ponta do Mucuripe e foz do Rio Ceará apresenta orientação E-W com feição de enseada.

O estudo da dinâmica praias na costa brasileira vem sendo estudada ultimamente por diversos autores, entre esses cita-se Toldo Jr. *et al.* (1993) e Calliari & Klein (1993), que através de levantamentos topográficos, enfocam não somente as modificações na morfologia da praia como, também, os mecanismos responsáveis por essas variações.

Os objetivos que se pretende atingir neste trabalho dizem respeito ao estudo da dinâmica da praia, através do comportamento de perfis praias, e ao conhecimento da cobertura sedimentar.

Síntese geológica/geomorfológica da área em estudo

A geologia local da área é representada pelas areias quartzosas de praia e dunas, por sedimentos estuarinos e de mangue do Rio Cocó (figura 1) e pelos sedimentos pleistocênicos das paleodunas. Essas últimas, quando afloram, encontram-se sotopostas as dunas. Geomorfológicamente insere-se na unidade geomorfológica Planície Litorânea definida por Souza (1988), compreendendo praias, campos de dunas e paleodunas.

Segundo Morais (1980), essa região é submetida a ação de ventos alísios provenientes do sudeste, dessa forma, as ondas atingem a costa em ângulo favorecendo a deriva litorânea responsável pelo transporte dos sedimentos de este para oeste. Na área em estudo a análise da média dos valores da altura das ondas na rebentação de cada perfil, medidos ao longo dos levantamentos topográficos, mostrou uma variação situada no intervalo 0,152 e 0,192 m (tabela II).

O regime de maré é semi-diurno com desigualdade de amplitude numa faixa de 2,3 m, e períodos médios de 12,4 h. A plataforma continental adjacente com extensão aproximada de 70 km apresenta uma declividade suave e cobertura arenosa.

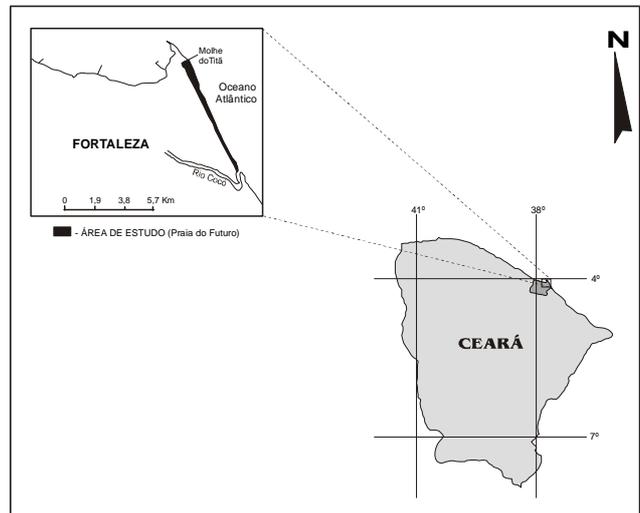


Figura 1 - Localização geográfica da área de estudo.

Tabela I - Coordenadas geográficas dos perfis levantados na área de estudo

Ponto	Coordenadas Geográficas	
	Latitude (S)	Longitude (W)
Perfil 1	03°46'38"	38°26'31"
Perfil 2	03°45'26"	38°27'12"
Perfil 3	03°45'06"	38°27'01"
Perfil 4	03°44'32"	38°28'35"
Perfil 5	03°42'46"	38°28'35"

METODOLOGIA

A metodologia utilizada compreendeu o levantamento topográfico de perfis praias ao longo de doze meses para estudo das variações morfológicas de curto período. Foram demarcados cinco pontos ao longo da praia, cujas coordenadas geográficas estão listadas na Tabela I, todos iniciando-se no pós-praia e estendendo-se até o limite superior da antepraia. Concomitante ao levantamento topográfico coletou-se amostras de

sedimentos em pontos onde ocorreram pequenas variações na morfologia da praia, para posterior análise em laboratório, seguindo metodologia utilizada no Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR), Universidade Federal do Ceará.

Em cada levantamento de perfil praiial, sob condições de maré baixa, fez-se registro da direção e velocidade do vento utilizando-se o anemômetro a aproximadamente dois metros de altura. Procedeu-se à coleta dos dados das ondas de gravidade como ângulo de incidência (∞), altura na rebentação (Hb), e período (T), utilizando-se como instrumentos de apoio cronômetro, mira e nível, de acordo com a metodologia apresentada por Bascon (1964) e Lanfredi & Framiñan (1986). A declividade da zona de praia e surfe obteve-se através da razão entre a altura e o comprimento de cada perfil praiial (tabela II).

Tabela II - Parâmetros morfodinâmicos dos perfis levantados na Praia do Futuro (Fortaleza/CE) durante o período de março/95 a junho/96

Ponto	Parâmetros Morfodinâmicos							
	Vel.		Dir.		Hb	T	m	β
	Berma	Estirâncio	Berma	Estirâncio				
Perfil 1	12	12	S25°E	S27°E	0,165	5,1	0,039	0,018
Perfil 2	12	13	S25°E	S23°E	0,152	4,9	0,043	0,016
Perfil 3	11	11	S23°E	S24°E	0,167	5,2	0,046	0,015
Perfil 4	12	13	S23°E	S23°E	0,186	5,5	0,031	0,023
Perfil 5	11	12	S23°E	S21°E	0,192	5,3	0,019	0,040

Legenda - vel.: velocidade dos ventos (m/s); dir.: direção dos ventos; H: altura de onda na rebentação (m); T: período (s); m: declividade do perfil β , coeficiente de rebentação de Galvin (1968).

Para o cálculo do estoque de sedimentos e exame da variação de seus volumes foi atribuído um *datum* para cada perfil praiial, sendo o volume dos sedimentos correspondente a cada perfil utilizando os recursos computacionais do programa AutoCAD® R.14, conforme listado na Tabela III. Os estádios morfodinâmicos foram analisados de acordo com a classificação proposta por Short & Hesp (1982) e Wright & Short (1984).

O tipo de rebentação de onda foi classificado de acordo com a aplicação do coeficiente de rebentação proposto por Galvin Jr. (1968).

Estádios morfodinâmicos dos perfis praiiais

Diversos autores, dentre estes Wright *et al.* (1979a/b 1982a/b *apud* Wright & Short, 1984), Wright (1982 *apud* Wright & Short, 1984) e Short & Hesp (1982), usam o conceito de estádio morfodinâmico da zona de praia e surfe para indicar a completa assembléia de formas deposicionais associadas aos processos hidro-

Tabela III - Volumes (m³) dos perfis praiiais tomados como prismas para efeito de cálculo

Data	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5
Maio/95	448*	324*	220	446 *	850*
Junho/95	628	538	494	616	916
Julho/95	663	567	452	569	887
Agosto/95	665	569	469	611	877
Setembro/95	591	530	398	607	885
Outubro/95	633	510	439	551	920
Novembro/95	734	550	433	645	858*
Dezembro/95	683	532	450	692	832
Janeiro/96	635	519	458	573	814
Fevereiro/96	639	540	411	609	811
Março/96	713	529	444	663	834
Abril/96	706	500	508	649	834
Maio/96	687	477	513	645	850

Observação: * = não tem valor para efeito de comparação.

dinâmicos, resultando essa associação em seis estádios que, comumente, ocorrem em dois extremos, um dissipativo e outro reflectivo, relacionados a esses estádios extremos ocorrem quatro estádios intermediários. A Figura 2 mostra os seis estádios morfodinâmicos da zona de praia e surfe, associados a diferentes regimes de ondas e marés, desenvolvidos pelos autores acima citados da escola australiana de geomorfologia. O extremo dissipativo é representado por praias que são uma resposta às condições de onda de alta energia, ao passo que o reflectivo é caracterizado por praias que se formam em resposta às baixas condições de ondas modais. As praias dissipativas correspondem morfológicamente a praias com uma face de praia de baixo gradiente com barras paralelas e canais com larga zona de surfe e alto gradiente. Nas praias reflectivas os sedimentos são armazenados na praia subaérea que é estreita, a zona de surfe deficiente em sedimento é relativamente profunda com um declive acentuado. Os estádios intermediários apresentam características dos estádios dissipativo e reflectivo.

Associados a cada tipo de praia está a mobilidade da praia e do pós-praia. A mobilidade da praia, que corresponde ao movimento normal da linha de praia, pode ser definida como o desvio padrão da posição média da linha de praia, e a mobilidade do pós-praia como o coeficiente de variação da posição média da linha de praia, Dolan *et al.* (1978 *apud* Short & Hesp, 1982).

Os perfis praiiais da área de estudo analisados segundo os conceitos de estádios morfodinâmicos propostos por Short & Hesp (1982) e Wright & Short (1984), apresentaram as seguintes configurações:

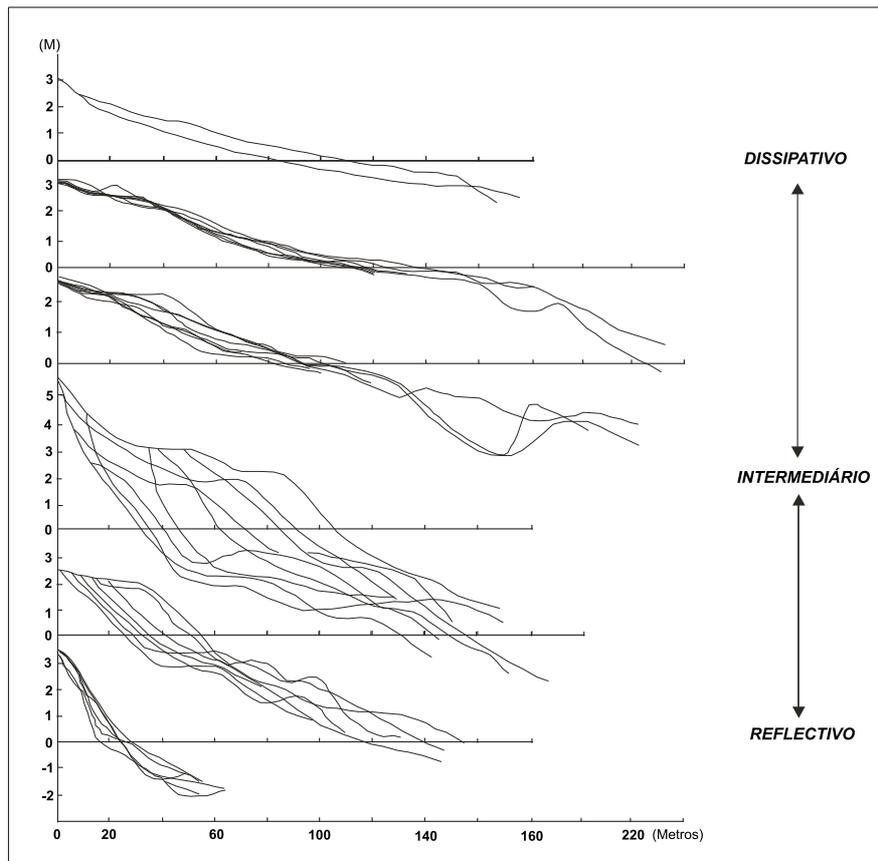


Figura 2 - Perfis praias observados na costa sudeste da Austrália, ilustrando a evolução morfodinâmica partindo de praias reflectivas passando por estádios intermediários até extremos dissipativos (modificada de Short & Hesp, 1982).

- Os perfis praias (figura 3), referentes ao ponto P1, revelaram situação de praia intermediária para reflectiva nos meses de novembro a março, e do estágio intermediário com baixa mobilidade temporal para os demais meses. O volume dos sedimentos variou de 591 m³ a 734 m³ (tabela III).
- O ponto P2 apresentou perfis praias (figura 4) com predominância do estágio dissipativo, e ocorrência secundária do estágio reflectivo nos meses de julho e agosto. O volume dos sedimentos apresentou uma variação de 477m³ a 567m³ (tabela III).
- Os perfis praias (figura 5) P3 apresentaram-se como estádios reflectivo e intermediário para reflectivo, com baixa mobilidade temporal, e valores de volume de sedimentos na ordem de 398m³ a 513m³ (tabela III).
- O ponto P4 com perfis praias de baixa mobilidade caracterizam-se pela presença do estágio intermediário (figura 6). A variação de volume de sedimentos para esse ponto situou-se entre 551m³ a 692m³ (tabela III).
- O estágio dissipativo com baixa mobilidade está presente em todos os perfis praias (figura 7) do P5. Os volume dos sedimentos apresentou valores situados no intervalo 812m³ a 920m³ (tabela III).

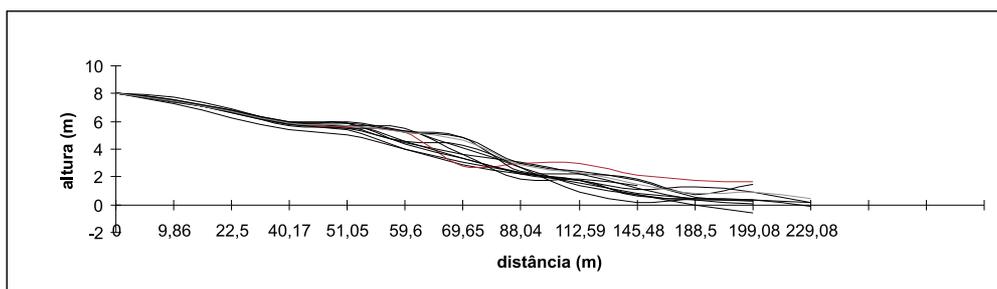


Figura 3 - Composição de perfis do P1 durante o período de maio/95 a junho/96.

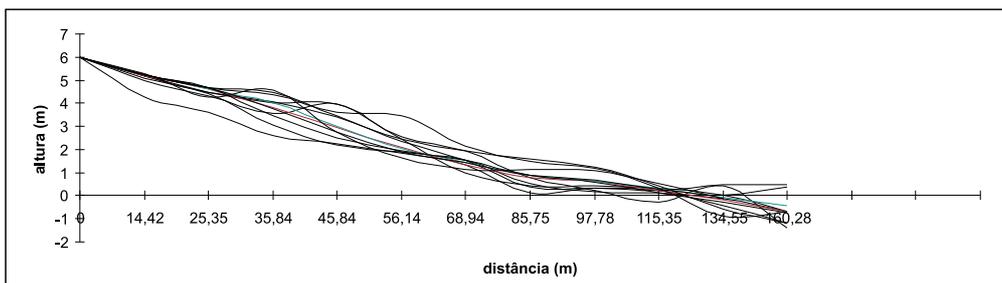


Figura 4 – Composição de perfis do P2 durante o período de maio/95 a junho/96.

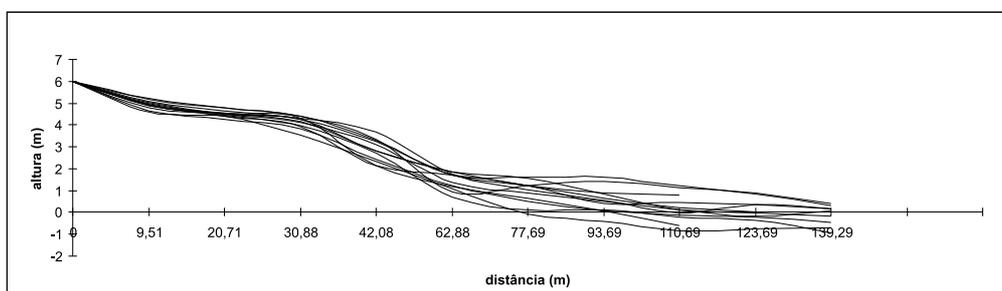


Figura 5 – Composição de perfis do P3 durante o período de maio/95 a junho/96.

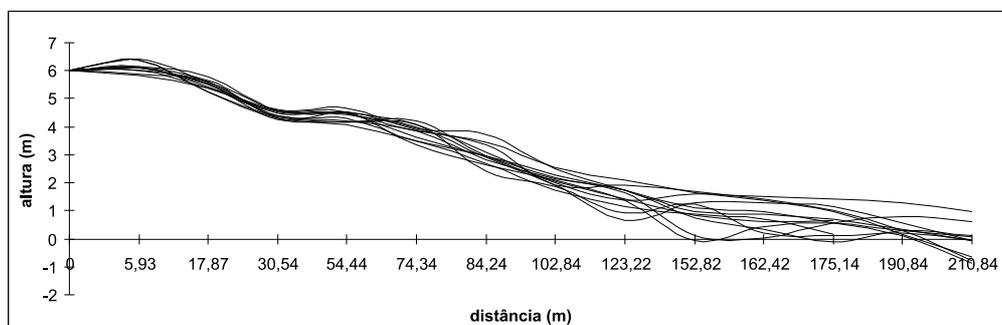


Figura 6 – Composição de perfis do P4 durante o período de maio/95 a junho/96.

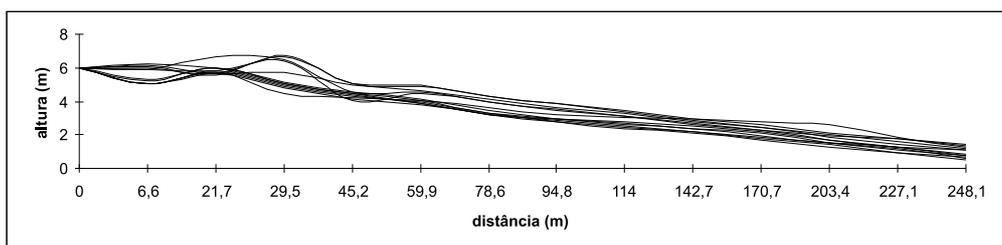


Figura 7 – Composição de perfis do P5 durante o período de maio/95 a junho/96.

Tipos de rebentação

Ao aproximar-se da praia as ondas quebram-se e, de acordo com a classificação de Wiegel (1964) *apud* Galvin Jr., (1968), podem ocorrer os seguintes tipos básicos de rebentação: deslizante (*spilling*), mergulhante (*plunging*) e ascendente (*surging*). Galvin Jr. (1968), através da aplicação do coeficiente de rebentação (β), definido por experimentos de campo e laboratório, introduziu o termo frontal (*collapsing*) para descrever o tipo de rebentação intermediária entre deslizante e ascendente (figura 8). O coeficiente de rebentação apresentado por Galvin Jr. (1968), é definido por:

$$\beta = \frac{H_b}{gmT^2}$$

onde,

β = coeficiente de rebentação

H_b = altura da onda de rebentação

g = gravidade

m = declividade do perfil praiial

T = período

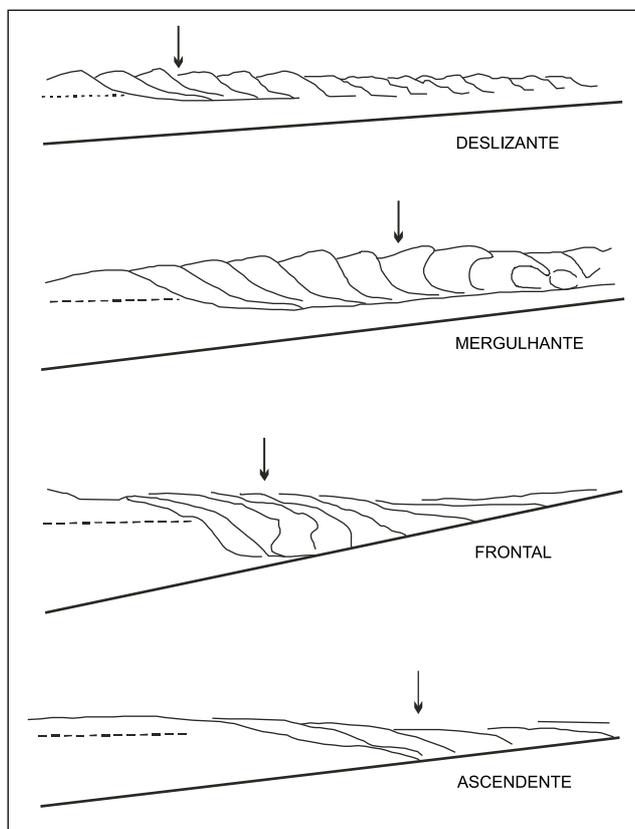


Figura 8 – Principais tipos de rebentação, segundo Galvin Jr., (1968). A linha tracejada representa o nível estacionário da água do mar. As setas indicam o ponto de rebentação.

Esses tipos principais de rebentação dependem das seguintes variáveis: declividade do perfil praiial (m); razão H_b/d_b (d_b corresponde a profundidade de rebentação); e ângulo da crista da onda em relação a vertical.

Os valores correspondentes ao resultado da aplicação do coeficiente de rebentação (β) apresentados na Tabela II indicam que o tipo de rebentação dominante foi o deslizante para todos os perfis. Essa condição é assumida quando a crista da onda torna-se instável produzindo uma linha de espuma irregular que eventualmente toma o aspecto de um pequeno “túnel”, e aumenta à medida que se aproxima da praia.

Toldo Jr. *et al.* (1993) mencionam que esse tipo de rebentação difere muito pouco do movimento do fluido sem rebentação e, portanto, tende a ser menos efetivo no transporte de sedimentos, que os tipos de rebentação frontal e mergulhante.

Aspectos mineralógicos e texturais dos sedimentos

A análise textural dos sedimentos, coletados ao longo dos perfis, revela que para o parâmetro média aritmética (Mz) os valores de tamanho de grão oscilaram entre ϕ 0,0 e ϕ 3,0 refletindo uma variação situada no intervalo areia grossa a fina. No Perfil 1 observa-se o predomínio da classe textural areia fina a montante, passando para areia média em direção a antepraia. A classe textural areia grossa foi observada nos meses de setembro, outubro, novembro, fevereiro e março no estirâncio inferior. O Perfil 2 está caracterizado pelo predomínio da areia fina sobre areia média. O Perfil 3 apresenta a classe textural areia média como predominante. No Perfil 4 observa-se a ocorrência da areia média e fina nas mesmas proporções. O Perfil 5 evidencia a predominância da variável areia fina. A distribuição de dados referentes ao desvio padrão (σ_1) mostra que os sedimentos apresentam-se moderadamente selecionados, valores de ϕ entre 0,4 e 1,0, com exceção das amostras do P5 que se apresentam bem selecionadas a moderadamente selecionadas.

O estudo da composição mineralógica dos sedimentos mostra tratar-se de sedimentos areno-quartzosos, com grãos de quartzo polidos, raros feldspatos, palhetas de mica e minerais pesados. Os índices de arredondamento e esfericidade dos grãos de quartzo variam de subangular para angular nas frações 0,500 mm e 0,250 mm. Fragmentos de conchas e foraminíferos compõem a fração biodetrítica.

Análise estatística dos dados de volume

Nos trabalhos relacionados à erosão costeira e balanço sedimentar numa faixa de praia, uma das

variáveis imprescindíveis é o volume de sedimentos tomado a partir do perfil levantado. Naturalmente, o volume deste perfil é tão somente uma amostra do prisma de praia contido pela área que ele representa. Como forma de tentar detectar um fator causal estatístico responsável pela variância dos valores obtidos e tomados como volumes dos perfis ao longo de doze meses, como mostra a Tabela III, utilizou-se a Análise de Variância (ANOVA), segundo Ivo & Fonteles-Filho (1997) e Landim (1998). Este teste foi desenvolvido inicialmente para experimentos controlados, objetivando investigar os fatores causais responsáveis pela variância, sendo atualmente utilizado nos mais diversos campos da ciência, seja experimental ou com dados de campo. Conforme as premissas teóricas do teste, obteve-se as variâncias *dentro* (S^2_D) das amostras e *entre* (S^2_E) os blocos de amostras (perfil a perfil). Para efeito de aplicação, tomou-se como amostras de cada perfil os valores de volume para cada mês; enquanto os blocos de amostras são representados pelo conjunto valores de volume de cada perfil.

Como de praxe nos testes estatísticos, foram assumidas duas hipóteses a serem testadas na Análise de Variância: a hipótese de nulidade (H_0) e a hipótese alternativa (H_a). As hipóteses levantadas foram:

- *Hipótese de Nulidade (H_0):* os perfis praias estão sujeitos à mesma dinâmica litorânea, não ocorrendo variação significativa entre os volumes dos perfis.
- *Hipótese Alternativa (H_a):* a variação de volume em cada perfil levantado é função de um fator causal específico, ou seja, a variância entre as médias é significativa.

Tomando-se k blocos de amostras (perfis) e N repetições (volume do perfil em cada mês), tem-se que $k = 5$ e $N = 55$ para um nível de significância $\alpha = 0,05$, conforme a Tabela III.

A realização do teste resultou em $F_{\text{cal}} = 17,375$, sendo que $F_{\text{tab}} = 2,53$. Como $F_{\text{cal}} > F_{\text{tab},a}$ hipótese escolhida foi a alternativa (H_a), rejeitando-se H_0 . Isto mostra que cada perfil representa uma área com dinâmica litorânea particularizada no contexto da área estudada.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A morfologia da praia para um dado momento é uma função da energia das ondas, marés, condições do vento e tamanho dos sedimentos, porém, em longo termo uma determinada praia pode caracterizar uma mesma feição, assumindo, dessa forma, um estágio modal, observado no decorrer do tempo na forma de perfil de praia.

Wright & Short (1984) atestam que os estádios da praia mudam largamente com a altura das ondas,

quando o tamanho dos sedimentos permanece o mesmo. Analisando os perfis praias da área de estudo com relação a essa afirmativa, observou-se que não ocorreu variação dos perfis praias devido à altura das ondas pois, esse dado permaneceu praticamente constante em quase todas as situações, e o tamanho dos grãos variou de areia grossa a fina.

Os perfis estudados apresentaram características de praia reflectiva, intermediária e dissipativa. O P1 próximo a desembocadura do Rio Cocó apresentou características de praia intermediária para reflectiva nos meses de novembro a março, que pode estar relacionado ao período chuvoso, tendo sido transportado maior volume de sedimentos por esse rio, uma vez que a altura das ondas apresentou pequena variação durante todo o período de estudo. O P2 apresentou predominância de perfis praias dissipativos ao longo de todo o período, com exceção dos meses julho e agosto onde se observa um aumento no volume dos sedimentos na porção subaérea da praia. O P3 com baixa mobilidade temporal e volume dos sedimentos inferior aos outros pontos está caracterizado pelo predomínio dos estádios reflectivo e intermediários para reflectivo. O P4 apresentou o estágio intermediário como predominante e o P5 em relação aos outros perfis mostrou ter a mais baixa mobilidade temporal com perfis de praia dissipativa e, maior volume de sedimentos. Essa situação está relacionada a sua proximidade a um molhe que se estende até a altura da antepraia funcionando como um anteparo para o transporte dos sedimentos.

Através da aplicação do coeficiente de rebentação (β) constatou-se o predomínio do tipo de rebentação deslizante, característica de praias de baixo gradiente.

A necessária realização do ANOVA ocorreu devido ao relativamente grande número de observações quanto ao volume dos perfis levantados. O teste revelou que ocorre variância significativa entre as médias destes volumes. Isto comprova a existência de fator causal que atua em cada área que o perfil representa. Este fator é representado pelos diferentes comprimentos de perfis levantados. Embora os volumes sejam medidas reais, ou seja, obtidas em campo através de levantamentos topográficos e modelados no AutoCAD® R.14, os diferentes comprimentos destes perfis, induzem a uma variância entre as médias de volume de cada bloco de perfis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bascom, W. N. *Waves and beaches*. Doubleday, New York, 1964.
- Calliari, L. & Klein, J. A. H. Características morfodinâmicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. *Pesquisas*, Porto Alegre, v. 20 n. 1, p. 48-56, 1993.

- Galvin Jr., C. J. Breaker type classification on three laboratory beaches. *J. Geophys. Res.*, v. 73, n. 12, p. 3651-3659, 1968.
- Ivo, C. T. C. & Fonteles-Filho, A.A. *Estatística pesqueira: aplicação em engenharia de pesca*. TOM Gráfica e Editora, v + 193 p., Fortaleza, 1997.
- Landim, P. M. B. *Análise estatística de dados geológicos*. Fundação Editora da UNESP, São Paulo, 1998.
- Lanfredi, N. W. & Framinã, M. B. Field study and prediction of longshore currents, Argentina coast. *J. Coast. Res.* v. 2. n. 4, p. 409-417, 1986.
- Morais, J. O. Aspectos do transporte de sedimentos no litoral do Município de Fortaleza, Estado do Ceará. *Arq. Ciên. Mar*, Fortaleza, v. 20,1 n. ½, p. 71-100, 1980.
- Ottmann, F.C. *Introducción a la geología marina y litoranea*. Editorial Universitaria de Buenos Ayres, Buenos Aires, 1967.
- Short, A. D. & Hesp, P. A. Wave, beach and dune interactions in southeastern Australia. *Mar. Geol.* Amsterdam, v. 48 p. 259-284, 1982.
- Souza, M. J. N. Contribuição ao estudo das unidades morfo-estruturais do Estado do Ceará. *Rev. Geol.* Fortaleza, v.1. n.1. p.73-91, 1988.
- Toldo Jr., E. E. *et al.* Parâmetros morfodinâmicos da praia de Imbé, RS. *Pesquisas*. Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 27-32, 1993.
- Wright, L. D. & Short, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Mar. Geol.*, Amsterdam, v. 56. p. 93-118, 1984.