

MORFOLOGIA E SEDIMENTOLOGIA DA PRAIA DE MACROMARÉ DE AJURUTEUA, AMAZÔNIA, NORTE DO BRASIL

MORPHOLOGY AND SEDIMENTOLOGY OF THE AJURUTEUA MACROTIDAL BEACH, AMAZON, NORTHERN BRAZIL

Francisca de Paula da Silva Braga¹

Pedro Walfir M. Souza Filho¹

Marcelo Augusto M. S. Alves¹

Luci Cajueiro C. Pereira²

RESUMO

A distribuição granulométrica dos sedimentos da praia de macromaré de Ajuruteua é influenciada por processos relacionados à descarga fluvial, ação de ondas, marés e ventos. Estes processos são responsáveis por mudanças granulométricas em períodos de tempo que variam de minutos, horas, dias, meses e anos. O trabalho teve como objetivo estudar a variação sazonal das propriedades granulométricas através dos parâmetros estatísticos (mediana, diâmetro-médio, desvio padrão - seleção, curtose e assimetria) e sua distribuição sobre a morfologia da zona de intermaré da praia de macromaré de Ajuruteua (Bragança/PA). As variações sazonais dos processos costeiros controlam a morfologia da praia e o comportamento sazonal dos sedimentos. A análise da distribuição dos sedimentos suportada sobre modelos digitais de terreno é de suma importância para o entendimento da dinâmica sedimentar em praias de macromaré.

Palavras-chave: distribuição granulométrica; praia de macromaré; morfologia praial.

1 Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido (LAIT), Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Av. Augusto Correa 1, Guamá, CEP: 66075-110, C.P. 8608, Belém, Pará, Brasil. Fone: 91 3201-8009. E-mails: {fplima, walfir, moreno}@ufpa.br

2 Laboratório de Oceanografia Costeira e Estuarina, Campus Universitário de Bragança, Universidade Federal do Pará, Aldeia, CEP: 68600-000, Bragança, Pará, Brasil. Fone: 91 3425-4536. E-mail: cajueiro@ufpa.br

ABSTRACT

The grain-size distribution of sediments in the Ajuruteua macrotidal beach is influenced by processes related to fluvial discharge, wave and tide actions and winds. These processes are responsible for grain-size changes in different time scales, which range from minutes, hours, days, months and years. This paper aims at studying the seasonal changes in the grain-size parameters (median, mean, standard deviation, kurtosis and skewness) and their morphologic distribution over the intertidal zone in the Ajuruteua macrotidal beach (Bragança/PA). The seasonal changes in the coastal processes control the beach morphology and the seasonal distribution of the sediments. The analysis of sediment distribution supported by digital elevation model was important to understand the seasonal sedimentary dynamics of macrotidal beaches.

key words: grain-size distribution; macrotidal beach; beach morphology.

INTRODUÇÃO

A praia de Ajuruteua está localizada na costa nordeste do Pará, inserida no contexto de uma das maiores costas de manguezais contínuos do planeta, que apresenta cerca de 8.900 km² (Kjerve *et al.*, 2002). Esta costa de manguezais é limitada em direção ao mar por praias de macromaré que apresentam a função ecológica de proteção do sistema de manguezal à ação de ondas. No entanto, estas praias interagem fortemente com os processos costeiros controlados por ondas e marés, estando sujeitas a modificações em diferentes escalas de espaço (cm, m, km) e tempo (horas, dias, meses e anos).

O estudo sobre a variação granulométrica em praias de macromarés se torna importante para compreendermos o processo de transporte e deposição dos sedimentos, como resultado de uma série de processos físicos decorrentes da ação das macromarés semidiurnas, da descarga fluvial, ação de ondas e ventos (Masselink e Short, 1993). As praias desenvolvem-se virtualmente em qualquer lugar onde o continente e o mar se encontram, onde houver sedimentos, e onde houver um local disponível para a acumulação de sedimentos (Davis 1978). Logo, são de longe os ambientes sedimentares costeiros de mais ampla distribuição, resultados da interação entre fatores oceanográficos e hidrológicos, meteorológicos e/ou climáticos, geológicos e antrópicos.

A morfodinâmica das praias está intimamente associada a variações sazonais relacionadas aos ciclos hidrológico e lunar. A variação sazonal da morfodinâmica praias mostra que as praias podem perder areia para o transporte mar afora durante a estação mais chuvosa, quando os estuários e canais de marés apresentam um maior volume de água e as ondas tendem a ser mais energética do que as da estação menos chuvosa.

O resultado final é uma mudança sazonal da areia para as zonas distantes da face de praia. O objetivo deste trabalho é mostrar as variações sazonais da zona de intermaré no que diz respeito aos parâmetros granulométricos e a morfologia da praia de macromaré de Ajuruteua. Tais variações granulométricas e morfológicas sazonais são entendidas como sendo respostas às mudanças nos processos físicos, os quais ainda precisam ser melhor investigados.

ÁREA DE ESTUDO

A área em estudo está situada próxima a linha do Equador (coordenada geográfica 01° S e 46° W; Figura 1), localizada a 36 km da cidade de Bragança. Esta praia apresenta cerca de 2 km de extensão e é delimitada por dois canais de macromarés (Barca e Chavascal) com deltas de marés vazantes associados.

A Praia de Ajuruteua está inserida no contexto da Costa Atlântica do Salgado Paraense onde habitam aproximadamente 392 moradores (IBGE 2004). Este número aumenta muito mais durante o veraneio (julho) quando a Praia chega a receber 90.000 veranistas (Pereira *et al.* 2006).

Diante deste potencial turístico da praia, Souza Filho (2001) observou que durante as últimas três décadas, dunas e praias vêm sendo usadas como áreas de assentamento, devido o aumento do turismo, que depende largamente da utilização das praias para fim de recreação. Souza Filho *et al.* (2003) detectaram a partir do monitoramento de perfis de praia em Ajuruteua no período de 1998 a 1999 taxas de erosão da ordem de 2 m/mês no setor NW da praia e uma relativa estabilidade no setor SW. Com isso, a área em estudo está sujeita a um forte recuo da linha de costa e os problemas relacionados à erosão costeira são emergentes.

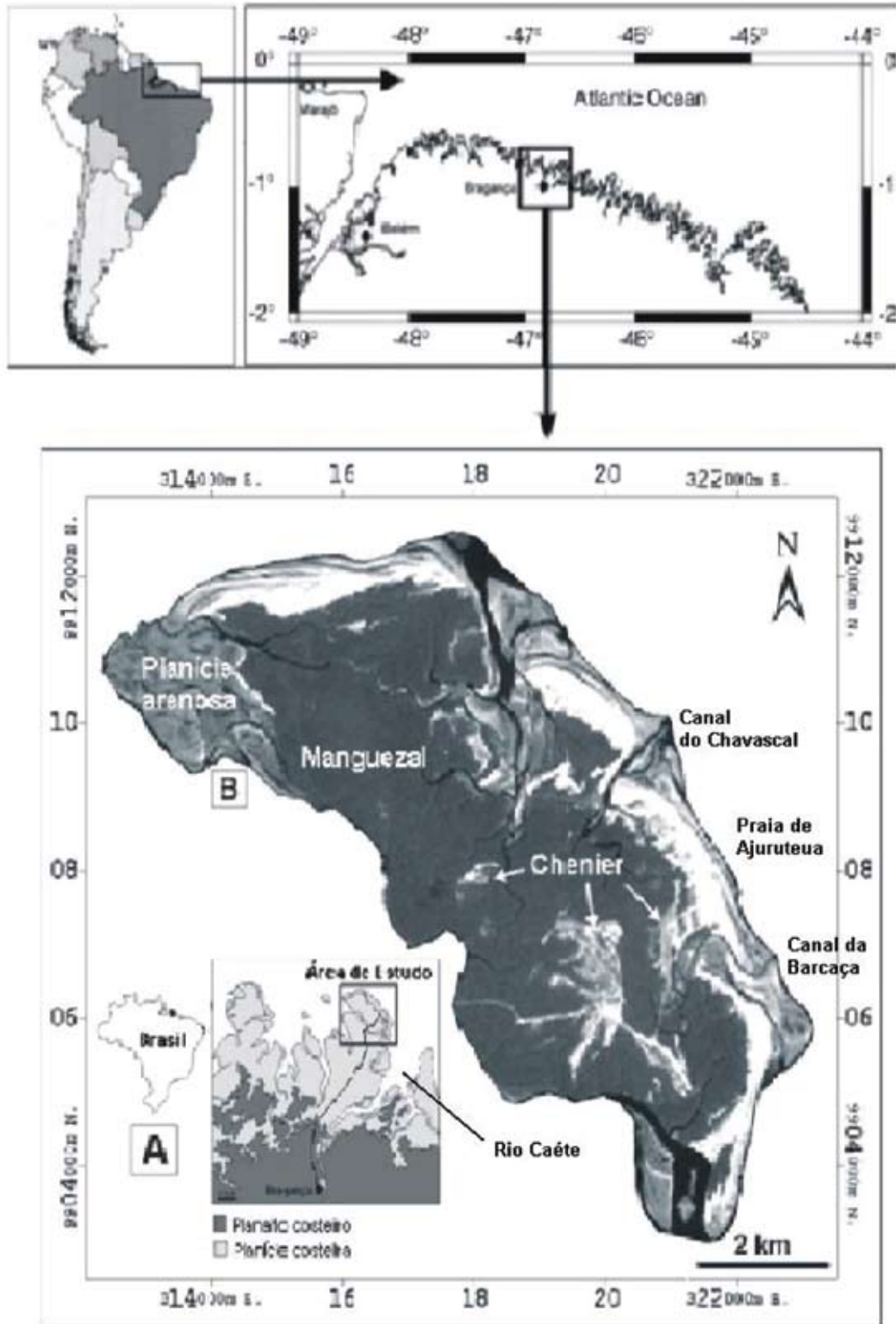


Figura 1 - Mapa de localização da área estudada

Martorano *et al.* (1992) classificou o clima da região como do tipo Am2 (segundo adaptação da classificação de Köppen), caracterizado por ser equatorial quente e úmido, megatérmico com estação seca prolongando-se de junho a novembro e um período chuvoso bem acentuado com fortes chuvas nos demais períodos do ano (dezembro a maio), principalmente no mês de março onde apresenta o maior pico chuvoso.

Esta região está dominada por macromarés de flutuações semidiurnas com amplitudes variando de 4 a 6 m. Na costa paraense as correntes de marés são dominantes, e secundariamente, as correntes litorâneas, que resultam nas chegadas de ondas à costa, estes são responsáveis pelo transporte de sedimentos da plataforma continental para o litoral. As correntes atingem velocidades máximas superiores a 1,5 nós (Alves 2001). A região está submetida à ação predominante de ventos alíseos na direção preferencial

NE apresentando valores médios em torno de 7 m/s nos períodos mais secos e nos períodos chuvosos em torno de 4,9 m/s como mostra a (Figura 6) (Silva 2001).

Regionalmente, a área está inserida em uma costa de ilha barreira transgressiva desenvolvida em condição de macromaré (Souza Filho *et al.* 2004). Souza Filho e El-Robrini (1996) compartimentaram a geomorfologia da Planície Costeira Bragantina em três domínios morfológicos: (1) planície aluvial, com canal fluvial, leves e planície de inundação (canais da Barca e Chavascal); (2) planície estuarina, com um canal estuarino subdividido em funil estuarino, segmento reto, segmento meandrante e canal de curso superior, canal de maré e planície de inundação e; (3) planície costeira, com os ambientes de pântanos salinos (interno e externo), planície de maré (manguezais de supamaré, manguezais de intermaré e planície arenosa com baixios de maré), cheniers, dunas costeiras e praias (Figura 2).

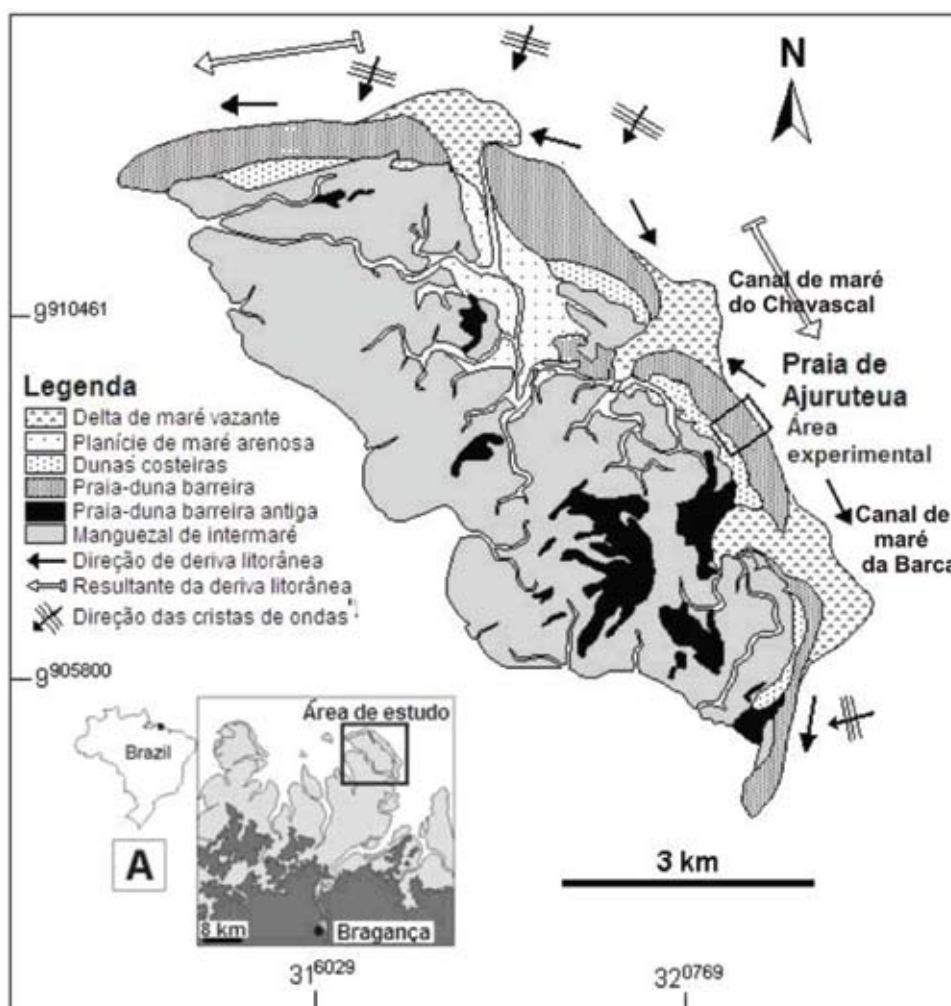


Figura 2 - Mapa de localização da área em estudo e dos ambientes costeiros e das direções de deriva litorânea da praia de Ajuruteua (modificado de Souza Filho *et al.* 2003)

MATERIAIS E MÉTODOS

Trabalho de Campo

Perfis Praiais e Coleta de Amostras Sedimentares

Na área central foram estabelecidos nove transectos

topográficos perpendiculares à linha de praia (Figura 3), espaçados 40 m entre si, estendendo-se desde as dunas frontais até um metro e meio de profundidade da antepraia em condição de maré baixa de sizígia.

Os perfis topográficos foram elaborados com nível automático Nikon AX 1S, mira e tripé segundo a metodologia proposta por Birkemeier (1981).

As amostras sedimentares foram coletadas

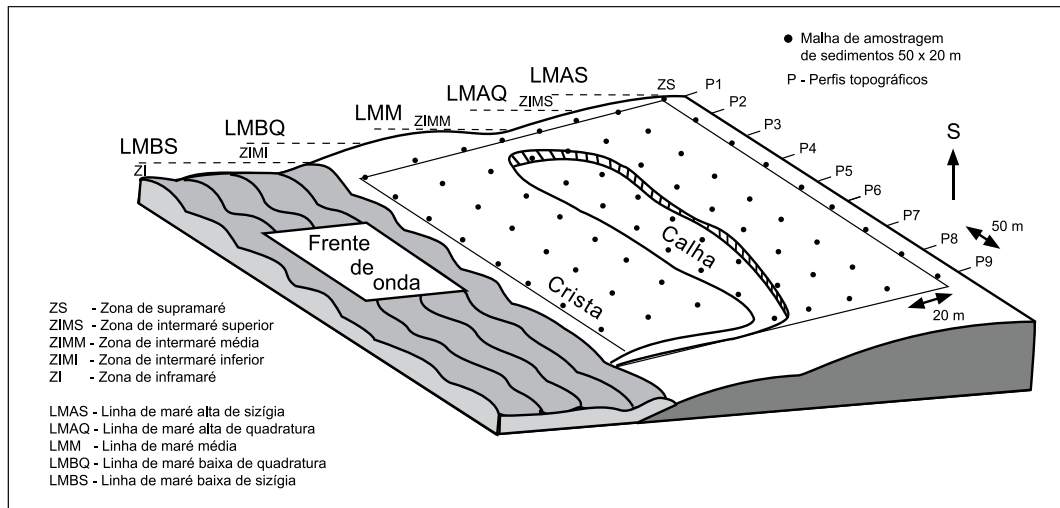


Figura 3 - Mapa da estratégia de amostragem dos perfis de praia e de sedimentos na zona de intermaré da praia de Ajuruteua (modificado de Pedreros et al. 1996)

superficialmente mediante o uso de um tubo PVC de 2 cm de altura e 8 cm de diâmetro para a coleta dos primeiros 2 cm de profundidade, com um total de aproximadamente 200g realizados simultaneamente aos levantamentos topográficos, assim cada amostra pode ser considerada como o resultado de todos os processos sedimentares diários ou semanais, e que os efeitos dos processos que atuam em escala de horas e minutos imediatamente antes da amostragem, como deflação, tem uma influência subordinada na granulometria dos grãos (Pedreros *et al.* 1996). As amostras foram coletadas em condições de maré baixa, a partir do campo de dunas até a zona de inframaré, obedecendo a um intervalo de 40 m ao longo e de 20 m perpendicular à linha de costa. Após a coleta das amostras de sedimentos, estes foram acondicionados em sacos plásticos e etiquetados.

Coleta de Dados Meteo-Oceanográficos

A variação das marés na praia tem sido extraída a partir dos perfis topográficos (diferença entre os níveis de maré baixa e alta) enquanto no estuário do rio Caeté (Figura 1) foi coletada a cada 5 minutos por um sensor de pressão. A frequência e altura das ondas foram observadas visualmente. No período chuvoso

chegam a atingir 1,2 m, e no período seco, 1,0 m durante períodos de marés equinociais. Estes parâmetros foram correlacionados com a distribuição granulométrica a fim de se explicar tal distribuição como função da ação de correntes de marés e de deriva litorânea.

Trabalho Laboratorial

Análise dos Perfis de Praia

Os nivelamentos topográficos foram utilizados para determinar a morfologia da praia e calcular o balanço do volume sedimentar. O processamento dos dados de perfil de praia foi realizado através do programa Golden Software (SURFER 8.0), utilizando o interpolador de curvatura mínima para a geração dos blocos diagramas.

Análise sedimentológica

As análises granulométricas das amostras coletadas foram submetidas ao peneiramento do material arenoso (Suguio 1973; Mendes *et al.* 1997). Esses sedimentos foram lavados para a retirada dos sais e secados na estufa à temperatura de 60°C. Em seguida, foi feito o quarteamento da amostra total, da qual se retirou 100g

de material. Essa quantidade foi peneirada em peneiras com intervalo de $1/5 \phi$ (0.350; 0.250; 0.177; 0.125; 0.088 e 0.062 mm) em um agitador automático por 10 minutos e uma média de 7 minutos manualmente, obtendo-se diretamente as percentagens relativas de abundância de cada classe.

Os sedimentos lamosos foram separados da fração arenosa via peneiramento a úmido, utilizando uma peneira de abertura 0.062 mm. A separação silte-argila foi realizada com o cilindro de Attemberg, quando o teor de finos é superior a 10% da amostra.

Determinação e Análise dos Parâmetros Estatísticos Granulométricos

Os dados relativos aos pesos percentuais das classes granulométricas foram inicialmente armazenados em planilha Excel e posteriormente processados no software SysGran[®] 2.4, desenvolvido por Camargo (1999) na Fundação Universidade do Rio Grande (FURG). Os parâmetros estatísticos granulométricos (média, mediana, selecionamento, assimetria e curtose) foram definidos segundo a classificação de Folk e Ward (1957). Através dos programas Golden Softare 8.0 (Surfer[®]), perfis topográficos foram processados, tendo como nível de referência, a linha de maré alta de sizígia, plotados em um modelo 3-D para uma visão tridimensional da distribuição e interpretação entre as relações existentes entre a sedimentologia, topografia e processos físicos na praia de macromaré de Ajuruteua.

Os grids dos parâmetros estatísticos dos sedimentos foram cruzados com os perfis topográficos. Tais parâmetros permitiram a análise da distribuição espacial dos parâmetros estatísticos.

Compartimentação Morfológica e Hidrodinâmica da Praia

Morfologia

A zona costeira constitui uma zona de fronteira sujeita a contínuas alterações morfodinâmicas ocorridas temporalmente e espacialmente, em função de uma série de processos geológicos continentais e marinhos (Silva *et al.* 2004). Diante deste contexto, as praias compõem o ambiente frontal do sistema costeiro, tornando-se altamente dinâmica, cujas características morfológicas refletem o agente modificador predominante (ondas e

marés) e os atributos dos sedimentos que as compõem principalmente a granulometria. O papel ambiental principal das praias diz respeito à proteção da costa à ação direta destes processos dinâmicos.

Corroborando a proposta de Souza Filho *et al.* (2003) a partir de análise de visualização 3D gerado neste trabalho, a praia de Ajuruteua foi classificada como uma praia-barreira que se estende da linha de maré baixa de sizígia até as escarpas das dunas que representa a linha de maré alta de sizígia. Do ponto de vista morfológico a praia foi subdividida em três zonas nos dois períodos (Figura 4 e 5):

- **Zona de Supramaré:** estende-se do nível de maré alta de sizígia, até o limite topográfico da praia em direção ao continente (dunas costeiras). Esta zona é constituída por dunas costeiras vegetadas com 7 m de altura que quase sempre apresenta uma porção plana chamada de berma, cujo limite em direção ao mar é marcado por um declive abrupto (escarpa de praia). O berma geralmente inexistente em áreas de intensa erosão.
- **Zona de Intermaré:** é a face propriamente dita da praia que ocorre entre o nível de maré alta e baixa de sizígia configurando a zona de intermaré (ZI). Esta zona foi subdividida em três zonas distintas, cada qual distinguida por diferentes características morfológicas e sedimentológicas, frequência de inundações e regime dinâmico: (1) Zona de intermaré superior (ZIS) que se limita a partir da linha de maré alta de quadratura (LMAQ) até a linha de maré alta de sizígia (LMAS) em torno de 50 m de largura; (2) Zona de intermaré média (ZIM) que se estende desde a linha de maré alta de quadratura (LMAQ) até a linha de maré baixa de quadratura (LMBQ) com largura média de 160 m; e Zona de intermaré inferior (ZII) que se estende aproximadamente 50 m desde a linha de maré baixa de quadratura (LMBQ) até a linha de maré baixa de sizígia (LMBS).
- **Zona de Inframaré:** representa a área inferior do perfil praial e ocorre abaixo da linha de maré baixa de sizígia (LMBS) estendendo-se em direção ao mar.

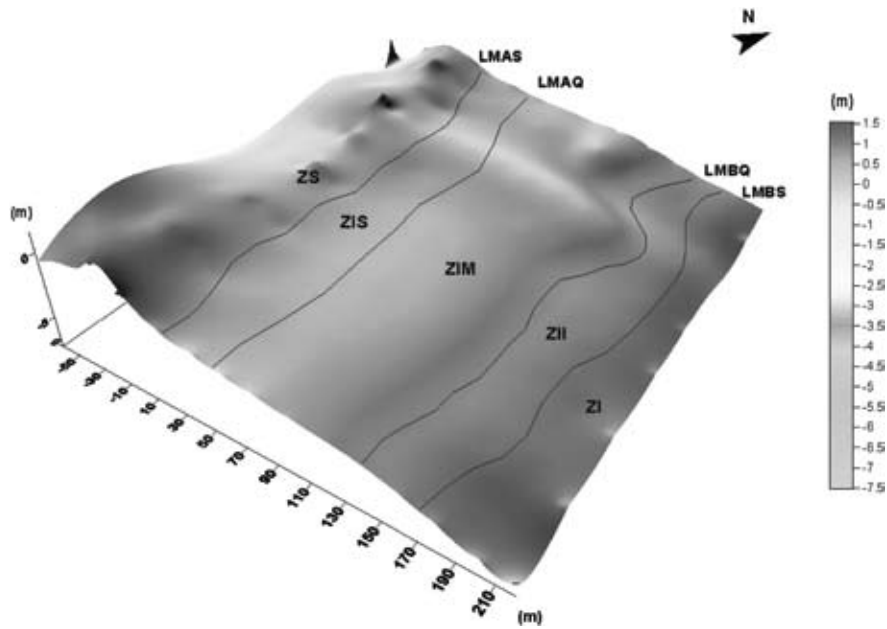


Figura 4 - Morfologia praial e subambientes da Praia de Ajuruteua no período chuvoso. Zona de Supramaré (ZS), Zona de Interamaré Superior (ZIS), Zona de Interamaré Média (ZIM), Zona de Inframaré (ZI), Linha de maré alta de sizígia (LMAS), Linha de maré alta de quadratura (LMAQ), Linha de maré baixa de quadratura (LMBQ) e linha de maré baixa de sizígia (LMBS)

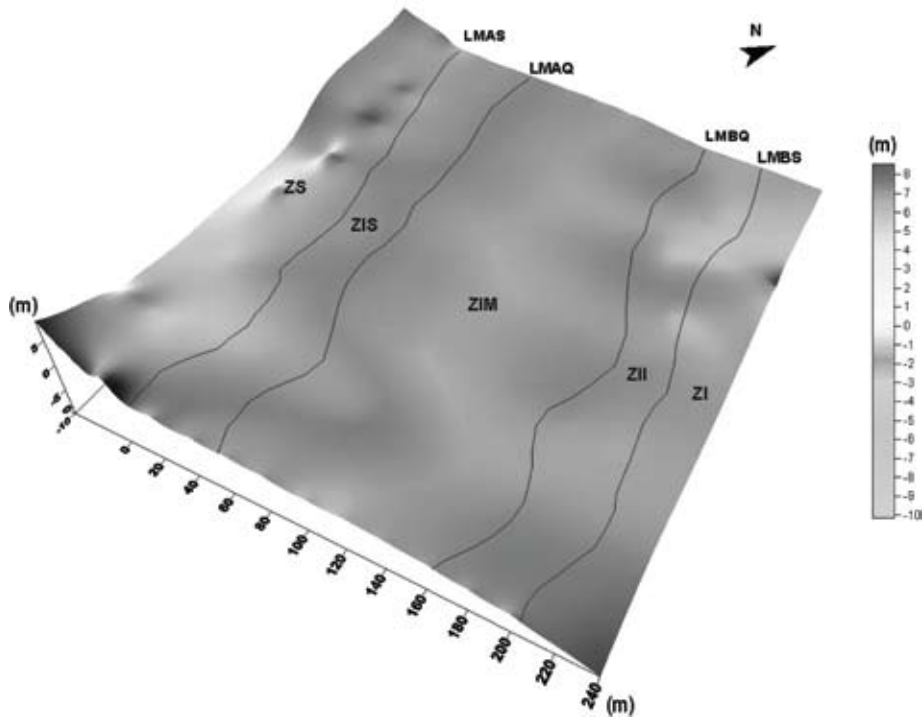


Figura 5 - Morfologia praial e subambientes da Praia de Ajuruteua no período seco. Zona de Supramaré (ZS), Zona de Interamaré Superior (ZIS), Zona de Interamaré Média (ZIM), Zona de Inframaré (ZI), Linha de maré alta de sizígia (LMAS), Linha de maré alta de quadratura (LMAQ), Linha de maré baixa de quadratura (LMBQ) e linha de maré baixa de sizígia (LMBS)

HIDRODINÂMICA

De acordo com a hidrodinâmica da praia, distinguem-se três zonas:

- a) **Zona de Arrebentação (*Breaking zone*):** é a porção do perfil da praia onde ocorre a dissipação das ondas, a qual fica compreendida entre o limite de arrebentação das ondas mais distantes e das mais próximas da costa (modificado de Hoefel 1998). O número de zonas de arrebentação está conseqüentemente relacionado com o número de bancos de areia e calhas existentes na praia e o seu conjunto forma a zona de arrebentação.
- b) **Zona de Surfe (*surf zone*):** A caracterização desta zona é dependente do modo como ocorre a dissipação energética das ondas incidentes. Segundo Hoefel (1988), em praias de baixa declividade, as ondas quebram e formam vagalhões (*bores*). Porém, o reconhecimento das diferenças das zonas de surfe e arrebentação se torna difícil em praias dissipativas (e. g. Ajuruteua e Atalaia, figura 1).
- c) **Zona de Espriamento (*swash zone*):** Caracteriza a região entre a máxima e a mínima excursão da onda sobre a face da praia, após esta zona aparece a escarpa de praia e por vezes acontece uma feição deposicional de sedimentos chamada de berma.

Galvin, (1968 *apud* Hoefel, 1988), propôs uma classificação do modo das quebras de ondas, segundo a altura, o comprimento de onda e a declividade da praia. Desta forma a arrebentação das ondas na praia de Ajuruteua pode ser classificada deslizante (*“spilling breaker”*) que ocorre em praias em baixa declividade onde as ondas “deslizam” pelo perfil, dissipando sua energia através de uma larga faixa (e. g. Ajuruteua).

COMPORTAMENTO ESPACIAL DOS PARÂMETROS GRANULOMÉTRICOS

A escolha do setor NW da praia de Ajuruteua para entendimento da distribuição do padrão sedimentar

está intimamente relacionado ao fato deste setor estar sujeito a um forte processo erosivo (Souza Filho *et al.* 2003). Ao longo da área investigada foram processados 18 perfis topográficos e foram analisadas 109 amostras do mês de março e 110 do mês de setembro, totalizando 219 amostras.

A distribuição granulométrica foi verificada em dois períodos de condições meteorológicas e hidrodinâmicas distintas: setembro (período seco) e março (período chuvoso). Os levantamentos obtidos mostram que a praia, em geral, é constituída predominantemente por areias finas a muito finas, bem a muito bem selecionados, aproximadamente simétricas e leptocúrticas a platicúrticas. Entre os perfis de setembro (seco) e março (chuvoso), o comportamento da granulometria dos sedimentos apresentou variações na zona de intermaré, os quais serão relatados detalhadamente a seguir.

Comportamento da média

A média indica a tendência central do tamanho médio dos grãos de um dado sedimento que fornece dados sobre a energia cinética média do agente de deposição (Folk & Ward 1957).

A zona de intermaré superior (ZIS) durante o período seco mostra uma heterogeneidade na distribuição da média com intervalos compreendidos entre 2,5 a 2,95 ϕ (Figura 6). Os menores valores correspondem a trechos mais vulneráveis à erosão das dunas na zona de supramaré. Enquanto que no período chuvoso o comportamento do diâmetro-médio mostra homogeneidade com valores compreendidos entre 2,2 a 2,5 ϕ com valor médio de 2,35 ϕ . Na zona de intermaré média (ZIM) durante o período seco, os valores giram em torno de 2,5 até 3,1 ϕ . No período chuvoso, para esta mesma zona, a distribuição é homogênea com valores em torno de 2,2 a 2,7 ϕ .

O comportamento da média durante o período seco da zona de intermaré inferior (ZII) apresentam valores que vão de 2,7 a 3,6 ϕ e no período chuvoso os valores variam entre 2,1 a 2,4 ϕ . A média aumenta do período chuvoso para o período seco tornando os sedimentos mais finos nesta direção (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores médios dos parâmetros estatísticos obtidos durante o período seco e chuvoso

Período seco		Md (ϕ)		σ (ϕ)	
Zonas	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio padrão	
Zona de Intermaré Superior (n= 27)	2,83	0,11	0,35	0,08	
Zona de Intermaré Média (n= 43)	2,74	0,09	0,38	0,05	
Zona de Intermaré Inferior (n= 24)	2,78	0,10	0,43	0,06	

Período chuvoso		Md (ϕ)		σ (ϕ)	
Zonas	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio padrão	
Zona de Intermaré Superior (n= 27)	2,36	0,14	0,36	0,07	
Zona de Intermaré Média (n= 43)	2,28	0,08	0,35	0,06	
Zona de Intermaré Inferior (n= 24)	2,26	0,11	0,42	0,06	

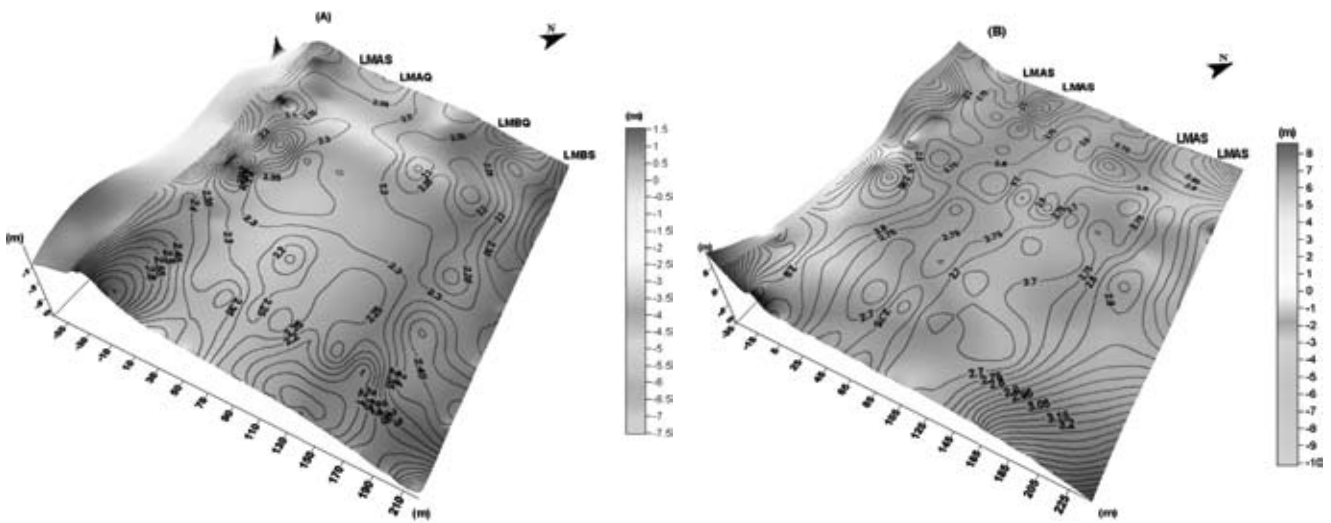


Figura 6 - Comportamento da média durante o período chuvoso (A) e seco (B)

Comportamento da mediana

A distribuição espacial da mediana é similar ao da média, uma vez que as amostras são aproximadamente simétricas. O gráfico da Média x Mediana exibido na Figura 7 ilustra o grau de correlação entre os dois parâmetros. A distribuição espacial da mediana é mostrada na Figura 8.

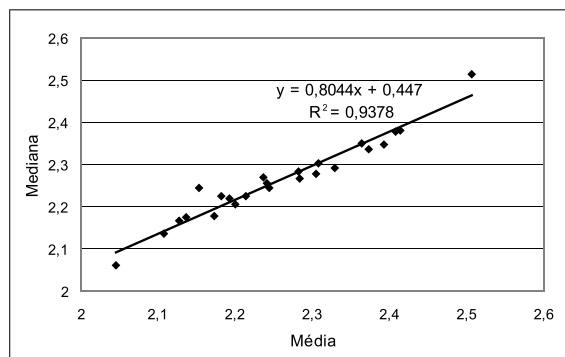


Figura 7 - Grau de correlação entre os parâmetros média e mediana

Comportamento da curtose

A curtose está relacionada com sucesso ao nível de energia das ondas ou ao nível de energia do ambiente deposicional, sendo inversamente proporcionais (Figura 9).

A distribuição da curtose durante o período seco na zona de intermaré superior (ZIS) é heterogênea com valores compreendidos entre 0,8 (platicúrtica) e 1,6 (leptocúrtica). No período chuvoso esta zona revela valores que vão desde 0,7 (platicúrtica) a 1,3 (leptocúrtica). Os trechos de baixos valores que se direcionam ao campo das dunas indicam a maior ação da energia de ondas. Os valores de curtose são os mais altos na zona de intermaré média (ZIM) no período seco devido à presença de calha que produzem um fluxo

unidirecional de baixa energia tornando a distribuição mais heterogênea que varia de 0,9 (platicúrtica) a 1,6 (muito leptocúrtica). Em oposição ao que ocorre no período seco, no período chuvoso observa-se um padrão de distribuição mais homogênea da curtose nesta zona que apresenta uma variação entre 1,0 a 1,5 (leptocúrtica).

Durante a estação seca, a zona de intermaré inferior (ZII) apresenta valores de curtose que variam de 0,2 (platicúrtica) a 1,2 (leptocúrtica) que mais uma vez mostram que os mais baixos valores indicam novamente áreas de maior energia e o de maior indica a presença da calha. Enquanto que no período chuvoso os valores ficam compreendidos entre 0,8 (platicúrtica) e 1,4 (leptocúrtica).

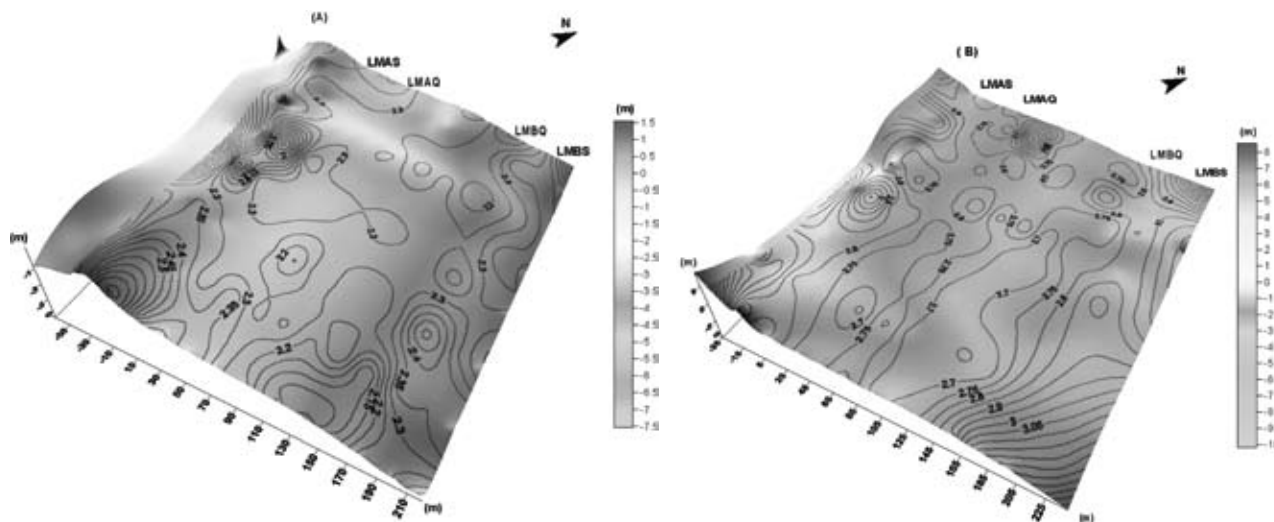


Figura 8 - Comportamento da mediana durante o período chuvoso (A) e seco (B)

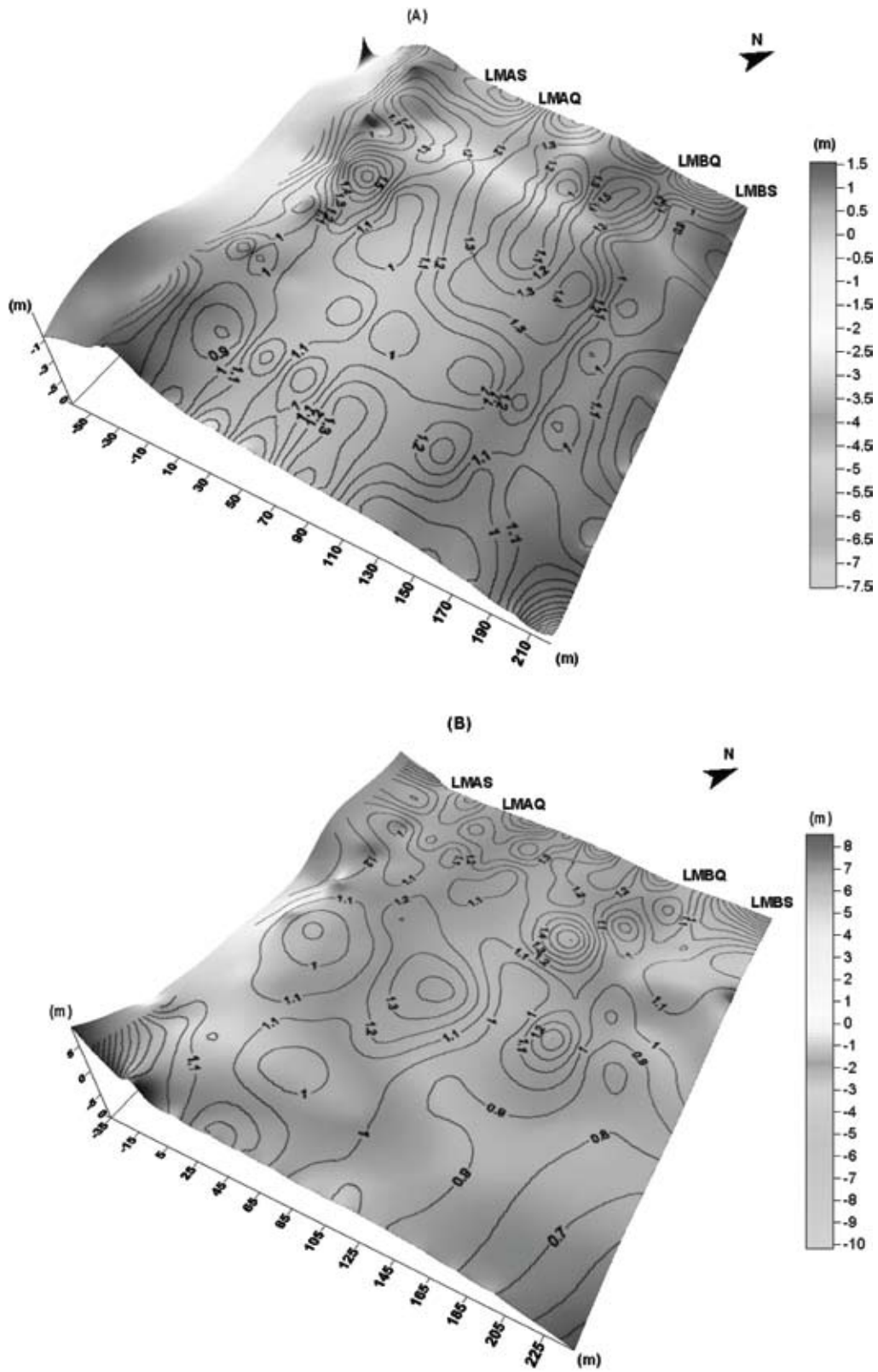


Figura 9 - Comportamento da cuneta durante o período chuvoso (A) e seco (B)

Comportamento da assimetria

A assimetria de uma distribuição granulométrica traduz a posição da mediana em relação à média aritmética (Folk & Ward 1957). Um valor positivo para assimetria indica um excesso de partículas finas. Em contraste, uma assimetria negativa significa um excesso de partículas mais grossas (Figura 10).

No período seco os valores da assimetria na ZIS giram em torno de 0 (simétrico) a $0,2 \phi$ (positiva). Na estação mais chuvosa estes valores tornam-se mais positivos em alguns trechos principalmente na direção das dunas que variam entre $0,1$ a $0,4 \phi$ (muito positiva), onde se tem a predominância de material mais fino, o que reflete maior erosão das dunas durante o período chuvoso.

Na ZIM, em geral, para ambos os períodos apresentam valores aproximadamente simétricos tendendo a valores negativos. No período seco estes valores variam entre $-0,1$ (aproximadamente simétrico) e $0,05 \phi$ (muito positivo), tal fato é explicado pela maior atuação das ondas neste período. Enquanto que para o período chuvoso os valores giram em torno de $-0,1$ (aproximadamente simétrica) a $0,3\phi$. Tal fato também é explicado pela maior atuação das ondas neste período (positivo). Na ZII para ambos os períodos os valores tendem a ser negativos e em alguns pequenos trechos positivos. No período seco, os valores vão de $-0,1$ a $0,3 \phi$ e no período chuvoso os valores de assimetria vão de $-0,65$ (muito negativo) a $0,3 \phi$ (positivo).

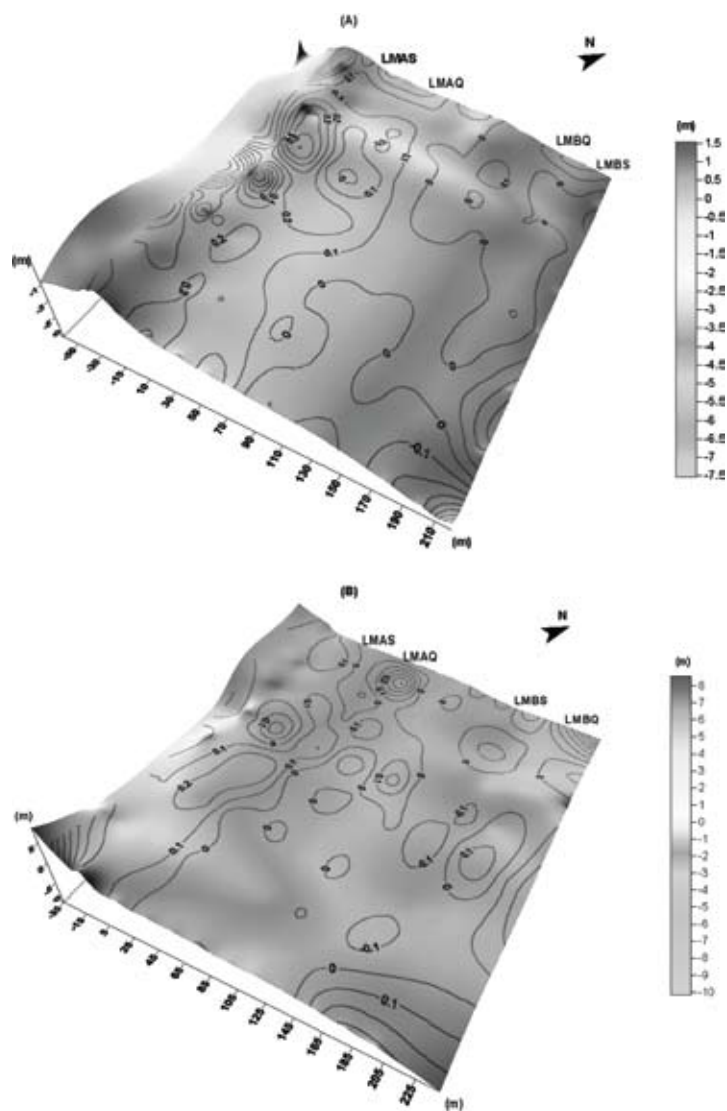


Figura 10 - Comportamento da assimetria durante o período chuvoso (A) e seco (B)

Comportamento do desvio-padrão

O desvio padrão (σ) descreve a dispersão em relação à média. O desvio padrão está intimamente associado ao selecionamento da amostra que nos dá informação a respeito das condições de transporte e deposição (Folk & Ward, 1957). Assim o termo selecionamento refere-se à seleção, durante o transporte das partículas de acordo com seus tamanhos, gravidades específicas e forma. Depósitos que contém pequenas variações de tamanho de partículas são referidos como bem selecionados.

Os sedimentos da ZIS são bem selecionados durante o período seco obtendo valores de 0,4 (Fig. 11), apresentando trechos muito bem selecionados (com valores de 0,25). Já o padrão selecionamento no

período chuvoso indica valores desde 0,25 (muito bem selecionada) até 0,35 (bem selecionada).

Assim como na ZIS, a ZIM no período seco apresenta sedimentos bem selecionados (0,4) a muito bem selecionados (0,25). O canal situado entre a ZIM e ZII apresenta sedimentos com valores que tendem a ser moderadamente selecionados (0,5). A distribuição do selecionamento durante o período chuvoso para esta mesma zona revela valores de 0,3 e 0,45 (bem selecionados). Na ZII os valores de seleção no período seco compreendem intervalos entre 0,3 a 0,7 (moderadamente selecionados). Este último valor pode ser oriundo da menor energia atuante na calha. Esses valores no período chuvoso não são diferentes, variando de 0,4 a 0,6 (muito bem selecionada).

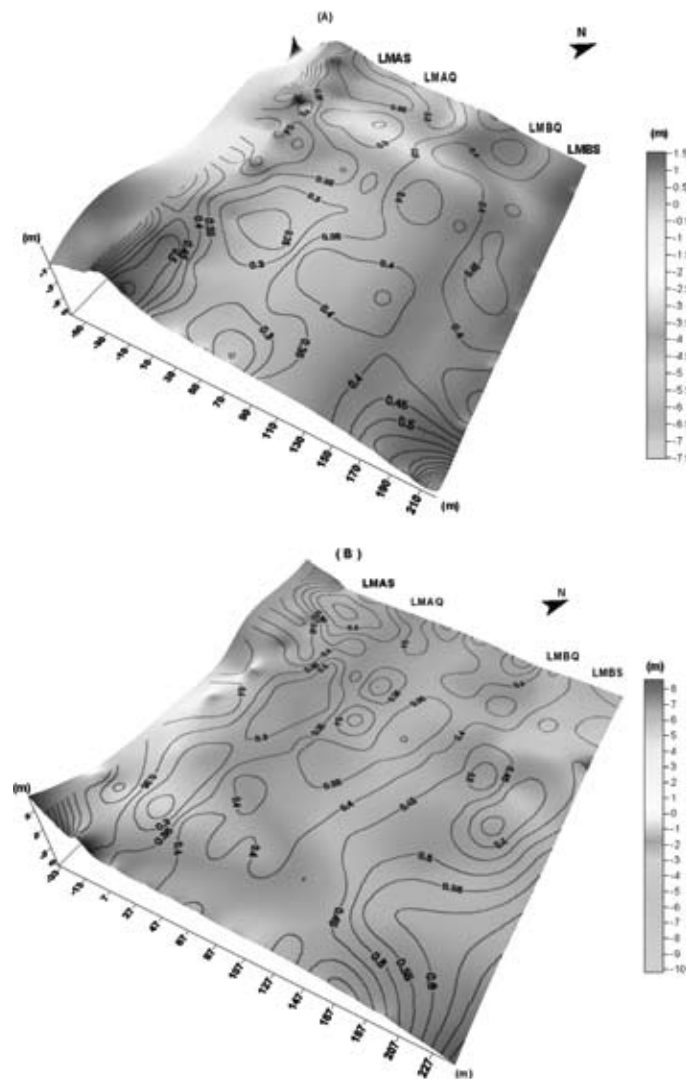


Figura 11 - Comportamento da seleção durante o período chuvoso (A) e seco (B)

DISCUSSÃO

Morfologia praial

A Praia de Ajuruteua apresenta um traçado retilíneo sob uma orientação NW-SE. A área de estudo limitou-se a uma extensão de 313 m que corresponde ao setor NW da praia. Segundo estudos efetuados anteriormente, os perfis praias demonstram um severo recuo da linha de costa. Por ser um ambiente altamente dinâmico, há mudanças tanto na morfologia quanto na forma de distribuição sedimentar, onde ocorre um controle sazonal resultante do processo de alta energia, devido, principalmente a macromarés associadas à ação de ondas. Essas mudanças morfológicas que ocorrem na praia são muito bem registradas em monitoramento de perfis praias perpendiculares à linha de costa realizada ao longo do ano em marés de sizígia.

A compartimentação morfológica da zona de intermaré está intimamente relacionada com o desnível da topografia e granulometria. Em função das variações das marés de sizígia e quadratura e da migração diária das diferentes zonas hidrodinâmicas da praia durante um ciclo de maré, os diferentes compartimentos morfológicos são desenvolvidos na praia em decorrência da ação das ondas e dos processos de espraiamento (“swash” e “backwash”). Tais processos são responsáveis pelo desenvolvimento das rupturas de declive nas linhas de maré alta e baixa de sizígia, e nas linhas de maré alta e baixa de quadratura.

Significado ambiental dos parâmetros granulométricos

A variação sazonal dos parâmetros estatísticos entre os dois períodos estudados (seco e chuvoso) mostra diferenças em relação à distribuição sedimentar. O comportamento da média mostra um controle sazonal ao longo da zona de intermaré. No período seco, a ação das ondas é maior devido à atuação dos ventos que são mais fortes neste período, assim a energia das ondas também se torna maior, erodindo as dunas frontais, ocorrendo, portanto, uma remoção dos grãos mais finos. No período chuvoso, a distribuição torna-se mais homogênea, devido à ação das marés suplantarem as ondas, ocorrendo erosão e retrabalhamento das

dunas frontais fazendo com que sedimentos muito bem selecionados sejam retrabalhados pelas correntes de marés responsáveis pela homogeneização do diâmetro médio dos sedimentos na zona de intermaré.

Por ser uma praia altamente energética e dissipativa (Alves 2001), como a praia de Ajuruteua, predomina areia fina em toda a malha havendo variações para areia muito fina. Seu transporte pode estar relacionado com a direção da deriva litorânea (Mclaren 1981) que de acordo com Alves (2001) se dá no sentido NW para SE.

De acordo com as subzonas (zona de intermaré superior, média e inferior) as amostras foram agrupadas para o período chuvoso e período seco na escala phi (Figura 12). Os dados analisados indicam de uma maneira geral que o comportamento da assimetria para os dois períodos variou sensivelmente, apresentando valores aproximadamente simétricos, apesar da existência de valores positivos e negativos.

No período seco (Figura 12a) predominam valores simétricos na ZIS, tendendo a ser positivo, havendo uma tendência para grãos finos. Isto se explica pela atuação das ondas que atuam com mais intensidade nesta época depositando sedimentos oriundos da erosão das dunas. Na ZIM e na ZII a existência de uma pequena calha influenciou na mudança para valores negativos onde há uma tendência para grãos mais grossos devido à baixa energia atuante no canal causado pelo fluxo unidirecional da água e também pela predominância da maré nesta última subzona. Segundo Duane (1964), valores negativos indicam uma remoção das dunas devido à erosão, predominando material residual (no caso, material fino para este trabalho), enquanto que valores positivos são típicos de deposição. No entanto, Bittencourt *et al.* (1992) defende a não relação entre o nível de energia da deriva litorânea e os valores de assimetria.

No período chuvoso (Figura 12b), tanto na ZIS quanto na ZIM, a assimetria tende a ser muito positivo, enquanto que a ZII os valores são simétricos a muito negativo. Neste período, a atuação das ondas e dos ventos é menor sendo suplantado pelas marés havendo uma homogeneização dos sedimentos. Este parâmetro é bastante sensível, a qualquer mudança na quantidade de sedimentos grossos ou finos, sendo capaz de modificar este parâmetro (Bittencourt *et al.* 1992).

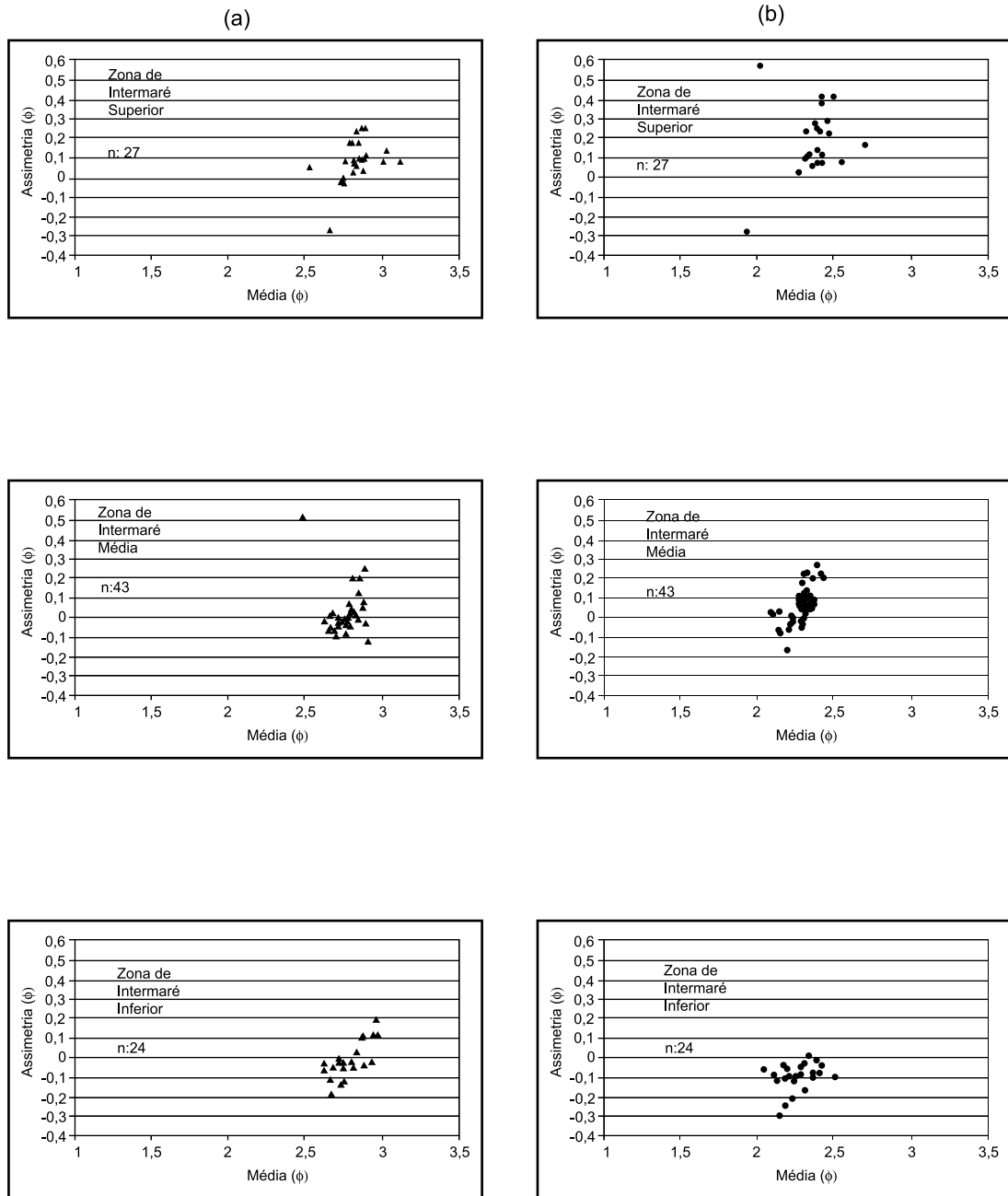


Figura 12 - Relação da média e assimetria para as três subzonas da zona de intermaré (superior, média e inferior) para os períodos seco (a) e chuvoso (b)

Há uma semelhança no comportamento da distribuição do seccionamento para ambos os períodos, com sedimentos muitos bem seccionados até moderadamente seccionados. A relação entre a média e seleção no período seco (Figura 13a) é diferente nas três zonas. Na ZIS, os sedimentos são mais bem seccionados que as demais zonas havendo uma concentração maior de areias finas devido aos movimentos de *swash* e *backwash*. A alta energia da praia e a presença de calha no período seco fizeram com que os sedimentos se apresentassem como moderadamente seccionado, uma vez que este

parâmetro depende do tamanho do grão, refletindo que a granulometria aumenta com o aumento do nível de energia.

No período chuvoso (Figura 13b), da ZII para a ZIS os sedimentos tendem a ser finos e melhor seccionados. Na ZIM e na ZII o crescimento dos valores, segundo Edwards (2001) aparentemente indica um aumento na mistura dos processos que induz um aumento no valor da seleção indicando mal seccionamento dos sedimentos da praia. Possivelmente nestas duas zonas ocorre a homogeneização dos processos que atuam nesta zona.

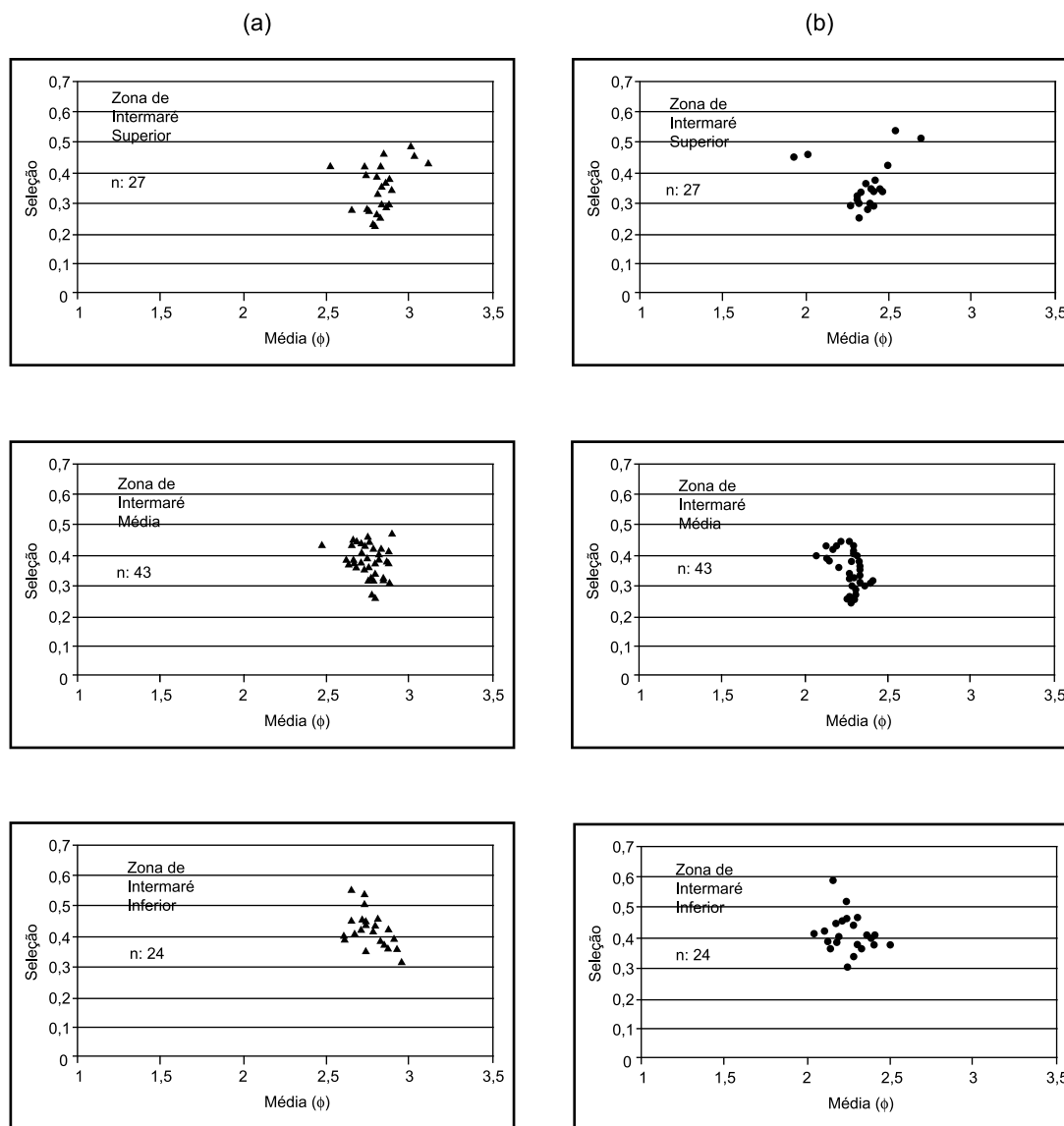


Figura 13 - Relação da média e seleção para as três subzonas (superior, média e inferior) para os períodos seco (a) e chuvoso (b)

A curtose já apresenta heterogeneidade na sua distribuição (Figura 14). No período seco os valores tendem a ser mais altos que no período chuvoso, em resposta da presença de canal na zona de intermaré que reduz a energia das ondas.

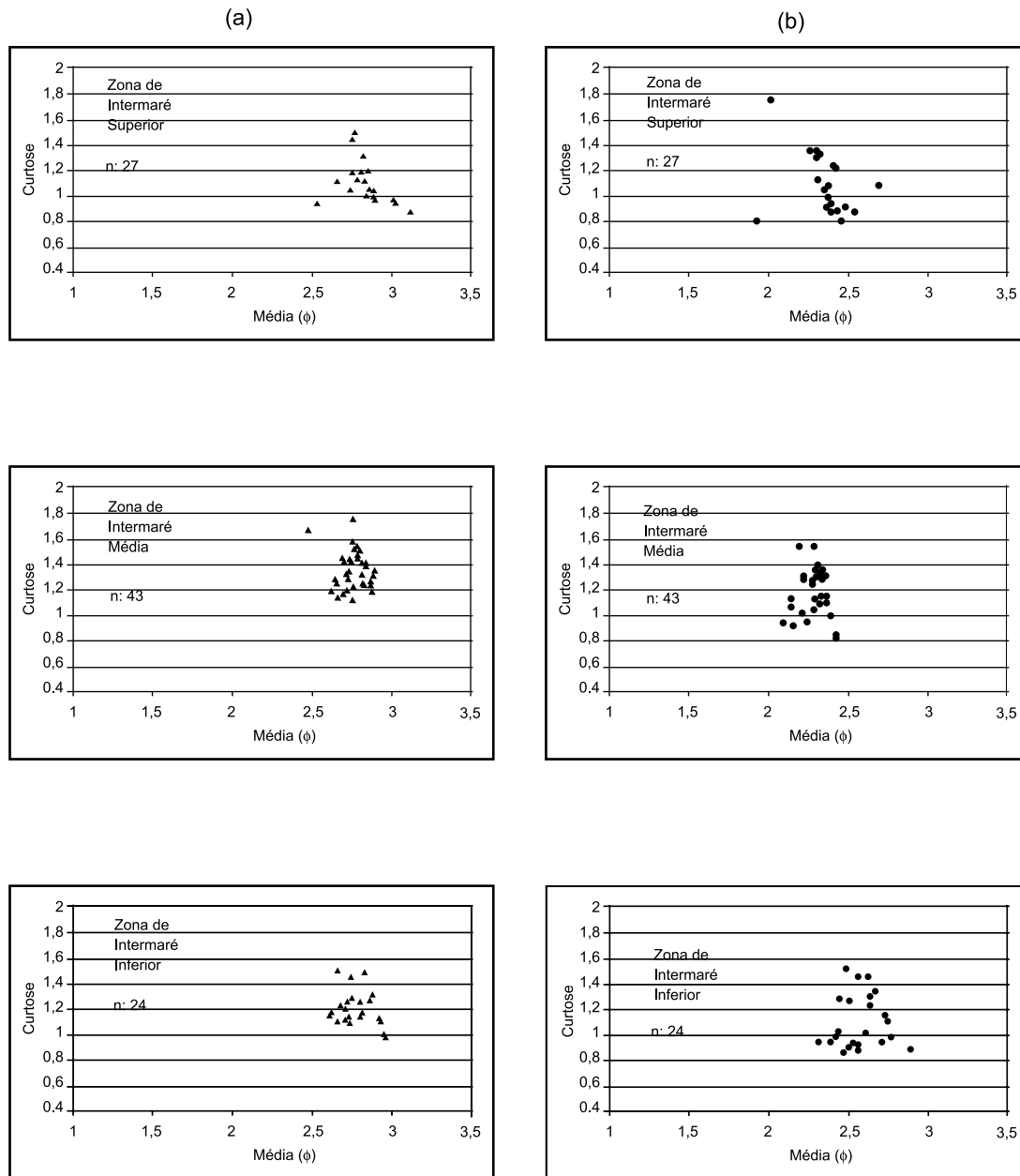
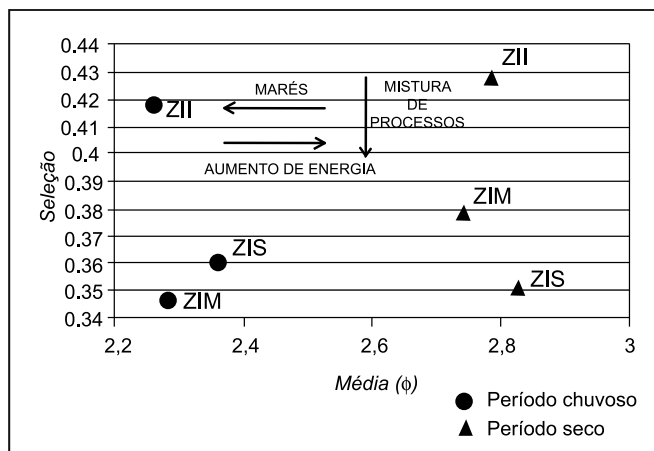


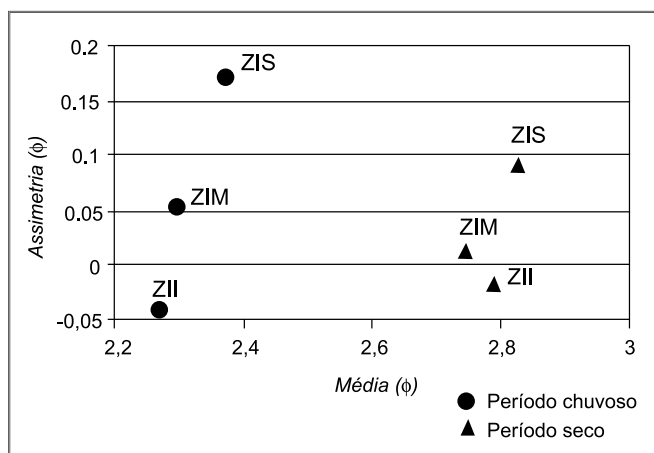
Figura 14 - Relação da média e curtose para as três subzonas (superior, média e inferior) para os períodos seco (a) e chuvoso (b)

Comparando os dois períodos, pode-se perceber nos parâmetros assimetria, curtose e seleção relacionadas à média que o período chuvoso apresenta predominantemente grãos mais grossos tendendo a ser moderadamente selecionados e muito leptocúrtico, enquanto que no período seco os sedimentos são mais finos, bem selecionados e platicúrticos (Figura 15).

(a)



(b)



(c)

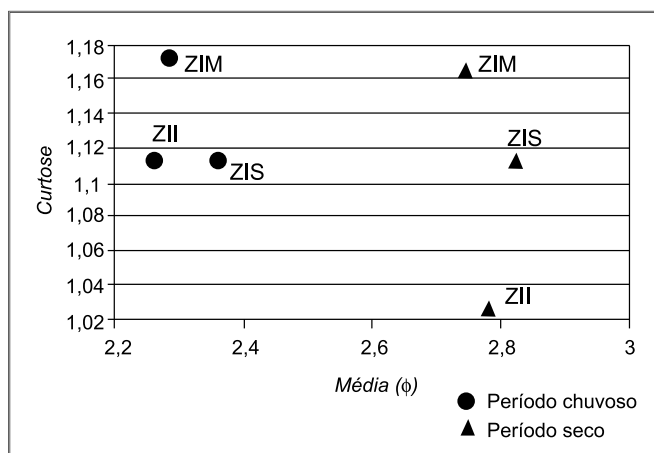


Figura 15 - Relação seleção x média, assimetria x média e curtose x média do período chuvoso e seco

Esta variação sazonal da granulometria dos sedimentos nas subzonas entre os períodos ocorre como uma consequência da variação dos processos atuantes (ventos, marés e correntes de marés). As relações assimetria-média, curtose-média e seleção-média mostram que os sedimentos do período chuvoso apresentam predominantemente granulometria mais grossa que o período seco. O nível de energia de ondas é maior no período seco que no período chuvoso, tornando-se mais energéticas em razão da maior intensidade de ventos que gera migração e acumulação de sedimentos nas dunas frontais. No período chuvoso as correntes de marés são predominantes, ocorrendo homogeneização dos sedimentos na Zona de intermaré.

A variação na distribuição sedimentar também pode ser considerada uma consequência direta dos ventos alísios que sopram continente adentro durante o período seco, gerando migração e acumulação de sedimentos nas dunas frontais. Isto se interrompe durante o período chuvoso marcado pela maior atuação das ondas e correntes de marés que se tornam mais energéticas em razão da maior intensidade de ventos e da descarga fluvial dos canais da Barca e Chavascal.

Segundo Pedreros et al. (1996), durante o período de menor energia, como no período seco, ocorre migração transversal à praia (“offshore/onshore”) dos sedimentos, com formação de crista e calha (“ridge e runnel”). Durante o evento de maior energia (período chuvoso) aumenta a migração transversal dos sedimentos, proporcionando um preenchimento da calha e um aplainamento da zona de intermaré.

CONCLUSÕES

1. As variações sazonais dos processos costeiros controlam a morfologia da praia. Durante o período seco, há ocorrência de sistemas de cristas e calhas suaves na zona de intermaré média. As cristas são caracterizadas por areias muito finas, bem selecionadas, positivamente assimétricas e platicúrticas, resultante do retrabalhamento dos sedimentos causado pela atuação da maior energia dos ventos e ondas, enquanto que nas calhas predominam areias finas, moderadamente selecionadas, negativamente assimétricas e

muito leptocúrtica, ocasionadas pela menor energia local. Durante a estação chuvosa, ocorre uma homogeneização dos sedimentos decorrentes da dissipação das dunas frontais e cristas, as quais preenchem a calha, havendo o aplainamento da ZI.

2. A variação da ação das ondas e correntes de marés na zona de intermaré influenciou o comportamento sazonal dos sedimentos. Desta forma, a análise mostrou que existem variações granulométricas sazonais nos sedimentos da zona de intermaré da praia de Ajuruteua em ambos os períodos.
3. A análise dos parâmetros estatísticos aliados aos modelos digitais de terreno é de importância para o entendimento da distribuição dos sedimentos em praias de macromaré. Tal ferramenta será de grande valia para a elaboração de modelos de transporte de sedimentos na zona de intermaré da praia de Ajuruteua.
4. O número de classes granulométricas é muito pequeno (seis classes), uma vez que foi utilizada peneiras com intervalos de $\frac{1}{2} \phi$, mesmo assim foi possível a obtenção de resultados expressivos em relação ao comportamento dos parâmetros granulométricos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo da primeira autora, e a bolsa de produtividades em pesquisa do segundo e quarto autores deste trabalho; aos projetos Milênio-RECOs e Universal- “Praias arenosas de Macromaré” pelo apoio financeiro nas etapas de campo. Ao Prof. Dr. Werner Truckenbrodt (UFPA) pela utilização do Laboratório de Sedimentologia e Minerais Pesados do Centro de Geociências da UFPA, onde todas as análises granulométricas foram realizadas e pelas sugestões ao manuscrito. Ao técnico Afonso Quaresma pela inestimável ajuda nos trabalhos de campo e amizade.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M.M.S. 2001. *Morfodinâmica e Sedimentologia da Praia de Ajuruteua* – NE do Pará. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Dissertação de Mestrado, 104p.
- BIRKMEIER, W. A. 1981. *Fast, Accurate Two-person Beach Surveys*. Fort Belvoir: Coastal Engineering Research Center, 19p.
- BITTENCOURT, A. C. S. P. & VILAS BOAS, G. S. & FARIAS, F. F. 1992. Variações direcionais nos parâmetros granulométricos: um indicador apropriado para o sentido da deriva litorânea? *Revista Brasileira de Geociências*, 22 (1): 100-106.
- CAMARGO, M. G. 1999. SYSGRAN para Windows: Sistema de análises granulométricas. [mcamargo@cem.ufpr.br].
- DAVIS, R. A. 1978. *Coastal sedimentary environments*. New York. Springer-Verlag. 420p.
- DUANE, D. B. 1964. Significance of skewness in recent sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 34 (4): 864-874.
- EDWARDS, A. C. 2001. Grain size and sorting in modern beach sands. *Journal Coastal Research*. 17 (1): 38-52.
- FOLK, R.L. & WARD, W.C. 1957. Brazos Rives Bar: a study in the significance of grain parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(1): 3-26.
- HOEFEL, F.G. 1998. *Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica*. Itajaí: Editora da Univali, 92p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS. 2004. Site Cidades@:Pará. Disponível em: <http://ibge.gov.br>. Acesso em: 7 jan. 2005.
- KJERFVE, B. & PERILLO, G.M.E. & GARDNER, L.R. & RINE J.M. & DIAS, G.T.M. & MOCHÉL, F.R. 2002. Morphodynamics of muddy environments along the Atlantic coasts of North and South America. In: HEALY, TR & WANG, Y. HEALY, J-A. (Eds), *Muddy coasts of the world: processes, deposits and functions*, Amsterdam: Elsevier Science, p. 479-532.
- McLAREN, P. 1981. Na interpretation of trends in grain-size measures. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51:611-624.
- MARTORANO, L.G. & PERREIRA, L.C. & CÉSAR, E.G.M. & PEREIRA, I.C.B. 1992. *Estudos Climáticos do Estado do Pará, Classificação Climática (KÖPPEN) e Deficiência Hídrica (THORNTHWHITE, MATHER)*. Belém, SUDAM/ EMBRAPA, SNLCS. 53p.
- MASSELINK, G. & SHORT, A.D. 1993. The effect of the tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. *Journal of Coastal Research*, 9 (3): 785-800.
- MENDES, A.C. & SILVA, M.S. & FARIA JR., L.E.C. 1997. A expansão urbana e seus efeitos danosos ao meio ambiente da Ilha do Atalaia - Salinópolis/PA. In: COSTA, M.L. & ANGÉLICA, R.S. (ed.). *Contribuições à Geologia da Amazônia*. Belém, Finep/SBG-NO. p. 359-398.
- PEDREROS, R. & HOWA, H. & MICHEL, D. 1996. Application of grain-size-trend analysis for the determination of sediment transport pathway in intertidal areas. *Marine Geology*, 135: 35-49.
- PEREIRA, L.C.C. & RIBEIRO, M.J.S. & GUIMARÃES, D.O. & SOUZA FILHO, P.W.M. & COSTA, R.A.M. 2006. Formas de uso e ocupação na praia de Ajuruteua-Pará (Brasil). *Desenvolvimento e Meio Ambiente*. Curitiba, 13: 19-30.
- SILVA, M.G.L. 2001. *Avaliação multitemporal da dinâmica costeira da Praia do Pescador, Bragança* (norte do Brasil). Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Dissertação de Mestrado, 113p.
- SILVA, C. G. & PATCHINEELAM, S. M. & BATISTA NETO, J. A. & PONZI, V. R. A. 2004. Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa. In: BATISTA NETO, J. A. & PONZI, V. R. A. & SICHEL, S. E. *Introdução à Geologia Marinha*. Rio de Janeiro, Interciência p.175-218.
- SOUZA FILHO, P.W.M. & EL-ROBRINI, M. 1996. M. Morfologia, processos de sedimentação e litofácies dos ambientes morfosedimentares da Planície Costeira Bragantina – Nordeste do Pará (Brasil). *Geonomos*, 4(2): 1-16.
- SOUZA FILHO, P.W.M. 2001. Impactos naturais e antrópicos na Planície Costeira de Bragança. In: PROST, Maria Tereza; MENDES, Amílcar Carvalho. (Org.). *Ecossistemas Costeiros: Impactos e Gestão Ambiental*. Belém, 2001, p. 133-144.
- SOUZA FILHO, P.W.M. & TOZZI, H.A.M. & EL-ROBRINI, M. 2003. Geomorphology, land-use and environmental hazards in Ajuruteua macrotidal sand beach, Northern Brazil. *Journal of Coastal Research*. SI 35: 580-589.
- SOUZA FILHO, P.W.M. & COHEN, M.C.L. & LARA, R.J. & LESSA, G.C. & KOCH, B. & BEHLING, H. 2004. Holocene coastal evolution and facies model of the Bragança macrotidal flat on the Amazon Mangrove Coast, Northern Brazil. *Journal of Coastal Research*, United States, v. SI, n. 39.
- SUGUIO, K. 1973. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo, Edgard Blücher. 342p.
- SURFER, version 8.0. [s.l.]: Golden Software, 1999. Conjunto de programas. 1 CD-Rom e manuais. Disponível em: <http://www.goldensoftware.com/>.