

VARIAÇÃO TRANSVERSAL E LONGITUDINAL DE PROPRIEDADES SEDIMENTOLÓGICAS NOS CORDÕES LITORÂNEOS DA ILHA COMPRIDA, LITORAL SUL PAULISTA

Paulo C.F. Giannini¹; Carlos C.F. Guedes²; Mario L. Assine³; Rodolfo J. Angulo⁴; Maria C. de Souza⁵; Luiz C.R. Pessenda⁶; Sônia H. Tatum⁷.

1. Prof. Dr. GSA-IG-USP (pcgianni@usp.br); 2. Bolsista Iniciação Científica IG-USP FAPESP; 3. Prof. Dr. IGCE-Unesp; 4. Prof. Adjunto Degeol-UFPR; 5. Bolsista Doutorado Degeol-UFPR CNPq; 6. Prof. Livre-Docente CENA-USP; 7. Profa. Dra. Fatec-Unesp

RESUMO

Resultados de análise de fácies, indicadores sedimentológicos de paleonível marinho, datações ¹⁴C e LOE e distribuição espacial de características granulométricas e mineralógicas permitem interpretar que o sistema de alinhamentos de cordões litorâneos da ilha Comprida formou-se no Holoceno através do sucessivo avanço da barreira no sentido da deriva longitudinal, para NE, por sobre depósitos de desembocadura lagunar. O paleonível mais alto encontrado na margem interna da ilha não é superior a 3m. O padrão de variação transversal de granulometria permite sugerir que o retrabalhamento sedimentar seletivo de areias do próprio sistema deposicional foi favorecido nas fases de maior engorda transversal. A variação mineralógica transversal pode ser atribuída à dissolução pós-deposicional de componentes instáveis, atuando por mais tempo nos cordões mais internos. A assembléia de minerais pesados da porção nordeste da ilha é mais imatura que a da parte sudoeste, o que pode ser atribuído à idade mais nova de seus sedimentos e/ou à maior proximidade e influência do aporte do rio Ribeira de Iguape.

ABSTRACT

Facies analysis, sedimentological indicators of paleosea level, ¹⁴C and LOE datings and spatial distribution of grain-size and mineralogical characteristics suggest that the beach-ridges alignments of Comprida island, in the southwestern coast of São Paulo State, Brazil, were formed in the Holocene by the successive growth of the barrier towards NE, above lagoonal inlet deposits. The highest paleosea level found in the internal margin of the island is lower than 3 m. The grain size variation transversal to the sets of parallel beach ridges alignments indicates that the selective reworking of sands from the own depositional system was favored in the phases with predominance of more progradation. The heavy mineral variation transversal to the alignments can be attributed to post depositional solution of unstable minerals, acting during a more long time on the more internal and older beach ridges. The heavy mineral assemblage is more immature on the northeast portion of the island than on the southwest portion, what can be attributed to the lesser effect of the post depositional solution and/or to the more proximity and influence of the terrigenous supply from Ribeira de Iguape river on the sediments of the northeast.

Palavras-Chave: deriva litorânea, cordões litorâneos, Ilha Comprida.

1. INTRODUÇÃO

A ilha Comprida é formada em quase toda sua totalidade por planície arenosa com alinhamentos de cordões litorâneos, que se incluem entre os mais bem preservados do Estado de São Paulo. Com base nas variações de geometria destes cordões, a evolução regressiva holocênica da ilha pode ser subdividida em quatro fases principais, em que duas componentes de crescimento, uma longitudinal à costa, para NE, e outra transversal, para SE, alternaram-se em importância relativa (Giannini *et al.*, 2003). A proposta central deste artigo é analisar a distribuição espacial de atributos sedimentológicos (estruturas, granulometria e mineralogia) ao longo das duas direções de crescimento da ilha, tendo em vista a comparação entre os cordões litorâneos de diferentes idades e a inferência do paleorumo de transporte longitudinal residual.

2. MÉTODOS

Realizaram-se três perfis de amostragem (Figura 1) com seis a sete pontos cada um, sendo dois por terra, transversais à linha de costa atual e ao feixe de cordões (transectos), e um, por barco, longitudinal à margem interna (lagunar) da ilha Comprida. As amostras dos

transectos foram coletadas através da abertura de sucessivas trincheiras ao longo de trilhas preexistentes nos extremos nordeste e sudoeste da ilha. As trincheiras

tiveram dimensões médias mínimas de 0,8 m de profundidade por 0,5m de largura e 1m de comprimento. Os transectos abrangem seis ou sete amostras, de A, mais interna, a F ou G, mais externa, distribuídas em espaçamento constante por toda a largura do feixe de alinhamentos paralelos. As amostras do perfil longitudinal, obtidas em falésias vivas, distribuem-se, de A a F, no sentido SW-NE. A e B situam-se no terraço sem cordões litorâneos aparentes da extremidade sudoeste da ilha, mapeado previamente por Suguio & Martin (1978) como pleistocênico. C, D, E e F localizam-se sobre terraço com cordões litorâneos, estando os dois primeiros na zona de cordões paralelos à costa e os dois últimos na zona de cordões curvilíneos que caracterizam os dois terços mais a nordeste da porção interna da ilha.

As laminações plano-paralelas com leve mergulho (menor que 5°) para o mar, atribuídas a espreamento de ondas, constituem o único tipo de estrutura sedimentar sindeposicional comum a todas as exposições estudadas. Desse modo, todas as amostras para análises granulométricas e mineralógicas foram coletadas em

areias com esta estrutura, situadas no horizonte B de perfil pedogênico de podzol.

Em laboratório, as amostras desagregadas, em massas iniciais de 50 a 60 g, foram submetidas a pipetagem em cinco intervalos de 1 Ø (escala phi de Krumbein) entre silte grosso e argila, seguida de lavagem dos finos pelíticos por elutrição e peneiramento ao vibrador mecânico em intervalos de 0,5 Ø. A partir dos resultados brutos de distribuição granulométrica da fração areia, calcularam-se os valores de parâmetros estatísticos (diâmetro médio, desvio-padrão, assimetria e curtose) pelo método analítico dos momentos de Pearson.

A separação entre minerais pesados e leves foi feita por afundamento-flutuação em bromofórmio (CHBr_3 , $d \sim 2,85 \text{ g/cm}^3$). Aplicou-se a análise à fração areia muito fina, correspondente à classe de 1 Ø imediatamente mais fina que a classe modal. Os minerais afundados foram submetidos à separação magnética ao imã portátil.

Os minerais pesados transparentes não micáceos foram quantificados via contagem até um total de pelo menos 100 grãos, utilizando-se o método da faixa. Calculou-se o índice ZTR, somatório de minerais ultraestáveis (zircão, turmalina, rutilo) dentre grãos pesados transparentes não micáceos. De modo análogo, foram calculados índices somatórios de componentes metaestáveis (estauroлита, epídoto, cianita, sillimanita, granada) e instáveis (piroxênios e anfibólios).

3. RESULTADOS DE ANÁLISE DE FÁCIES

Sete fácies foram identificadas (Figura 2): areia com laminação plano-paralela (Ap), areia com laminação plano-paralela, rica em icnofósseis (Api), areia com estratificação cruzada cíclica, rica em icnofósseis (Acci), areia com estratificação cruzada *hummocky* (Ah), lama com troncos (L), areia maciça com detritos vegetais carbonizados (Am) e areia com estratificação cruzada (Ac). As quatro últimas fácies têm ocorrência aparentemente localizada e encontram-se listadas na ordem de aparição de SW para NE.

A fácies Ap é a mais comum. Corresponde a areias finas com laminação plano-paralela, associadas a icnofósseis esporádicos, com forma de tubos maciços, verrugosos (*Ophiomorpha*), característicos do artrópodo *Callichirus major*. Nas trincheiras, esta foi a única fácies identificada. Imediatamente sob ela, em passagem bem definida, ocorre com frequência a fácies Api, diferenciada de Ap apenas pela maior abundância de tubos de *Callichirus*. Considerando que estes icnofósseis correspondem a domicínia com profundidade métrica, cujo topo se situa aproximadamente no terraço de espraçamento de baixamar, a fácies Api, rica em tubos, pode ser relacionada a processos de espraçamento na zona de baixamar, enquanto a fácies Ap registraria o mesmo processo ocorrendo em posições mais ao continente.

Na fácies Acci (pontos C, D e E do perfil longitudinal), as areias finas contêm *Ophiomorpha* em abundância e estratificação cruzada, com mergulho aparente para NE e variação cíclica de espessura e nitidez, aos moldes de feixes de maré (*tidal bundles*). Clastos de lama tabulares milimétricos a centimétricos ocorrem às vezes associados.

Esta fácies é interpretada como produto da migração de barras lineares e/ou de ondas de areia sob influência do ciclo de maré. Pode-se tratar de formas de leito ligadas à arrebenção de ondas ou a correntes de maré semi-confinadas à paleodesembocadura da terminação nordeste da ilha. A associação com clastos de lama, sugestiva de proximidade às fácies lagunares de retro-barreira ou mesmo do retrabalhamento de filmes de lama (*mud drapes*) depositados na estufa, fortalece a segunda hipótese. As fácies Api e Acci são frequentemente separadas entre si por um nível de espessura centimétrica rico em palhetas de mica e restos vegetais carbonizados, incluindo gravetos de diâmetro milimétrico e folhas, os quais seriam acumulados sobre o terraço de baixamar e preservados pelo soterramento rápido por areias de espraçamento.

A fácies Ah foi encontrada em falésia do extremo sudoeste da face lagunar da ilha (ponto A do perfil longitudinal), em meio à fácies de espraçamento Ap. Ocorre sob a forma de camada subtabular de 45 cm de espessura de areia fina, com continuidade lateral por todo o afloramento (decamétrica), caracterizada pela alta concentração de minerais pesados e pela presença de megaondulações simétricas, com truncamentos côncavo-convexos. Localmente, as megaondulações aparentam estar deformadas por liquidação. A geometria e dimensões das ondulações, compatíveis com estratificação cruzada *hummocky*, e a concentração de minerais pesados, típica da ação de eventos de energia anômala, leva a supor que a camada é o resultado de tempestade costeira, com conseqüente elevação instantânea do nível do mar, atuando sobre zona normalmente caracterizada por águas rasas (espraçamento de ondas de bom tempo). Admitida esta hipótese, a camada em questão marcaria uma superfície de tempo, com boa continuidade lateral. Desse modo, sua ocorrência restrita à extremidade sudoeste da ilha seria explicada pela pequena extensão longitudinal da barreira na época da ocorrência da suposta tempestade.

A fácies Lt ocorre entre Acci e Ap no ponto D do perfil longitudinal. Consiste de camada de 35 cm de espessura de argila preta com fragmentos de madeira de tamanho variado, incluindo tronco de diâmetro decimétrico em posição vertical (Lab 839 – CENA 438: 4530 ± 70 anos AP). Representa depósitos de mangue de retro-barreira. A sucessão vertical encontrada neste ponto pode ser interpretada como resultante do avanço longitudinal (para NE) do conjunto barreira-laguna sobre a antiga zona de desembocadura, seguido da erosão do mangue por transgressão da costa.

As fácies Ac e Am ocorrem associadas nos pontos do perfil longitudinal situados na zona mais estreita da ilha, junto ao morro de Icapara (F do perfil longitudinal). Ac corresponde a areias finas esbranquiçadas com estratificações cruzadas, relacionadas às paleodunas eólicas da terminação nordeste. Am ocorre intercalada com Ac ou separando as fácies Ap (abaixo) e Ac. Trata-se de nível centimétrico de areia fina a média, cinza, com detritos vegetais carbonizados subcentimétricos (Lab 838, CENA 437: 60 ± 55 anos AP), interpretado como solo

soterrado. A restrição da associação Ac/Am à terminação nordeste deve-se ao fato de que a porção mais recente da ilha é a única região em que a atividade eólica junto à margem lagunar existiu e/ou foi preservada.

4. RESULTADOS DE GRANULOMETRIA

A comparação entre os dois transectos quanto aos parâmetros estatísticos (Figuras 3 e 4) evidencia que não há um padrão de variação granulométrica comum a ambos. Esta discrepância é explicada pelo fato de que o transecto sudoeste registra um intervalo de tempo maior que o nordeste. De acordo com o modelo de crescimento da ilha aqui adotado (Giannini *et al.* 2003), enquanto o transecto sudoeste atravessa cordões litorâneos de quatro fases regressivas diferentes (tempos 1 a 8), o nordeste registra apenas as três últimas (tempos 5 a 8). A maior complexidade de variação do transecto sudoeste é compatível com este fato. Com base nas inflexões na variação dos parâmetros granulométricos, este transecto (Figura 3) pode ser dividido em três segmentos: do interior para a costa. O primeiro e o terceiro, correlatos às fases de maior crescimento longitudinal, caracterizam-se por engrossamento, piora da seleção e aumento da assimetria, rumo aos cordões mais novos. O trecho intermediário exhibe tendências opostas. No transecto nordeste (Figura 4), o padrão de variação, mais simples, divide-se em apenas dois segmentos. O mais interno e prolongado caracteriza-se por engrossamento, melhora da seleção e aumento da assimetria.



Figura 1: Mapa de pontos e localização

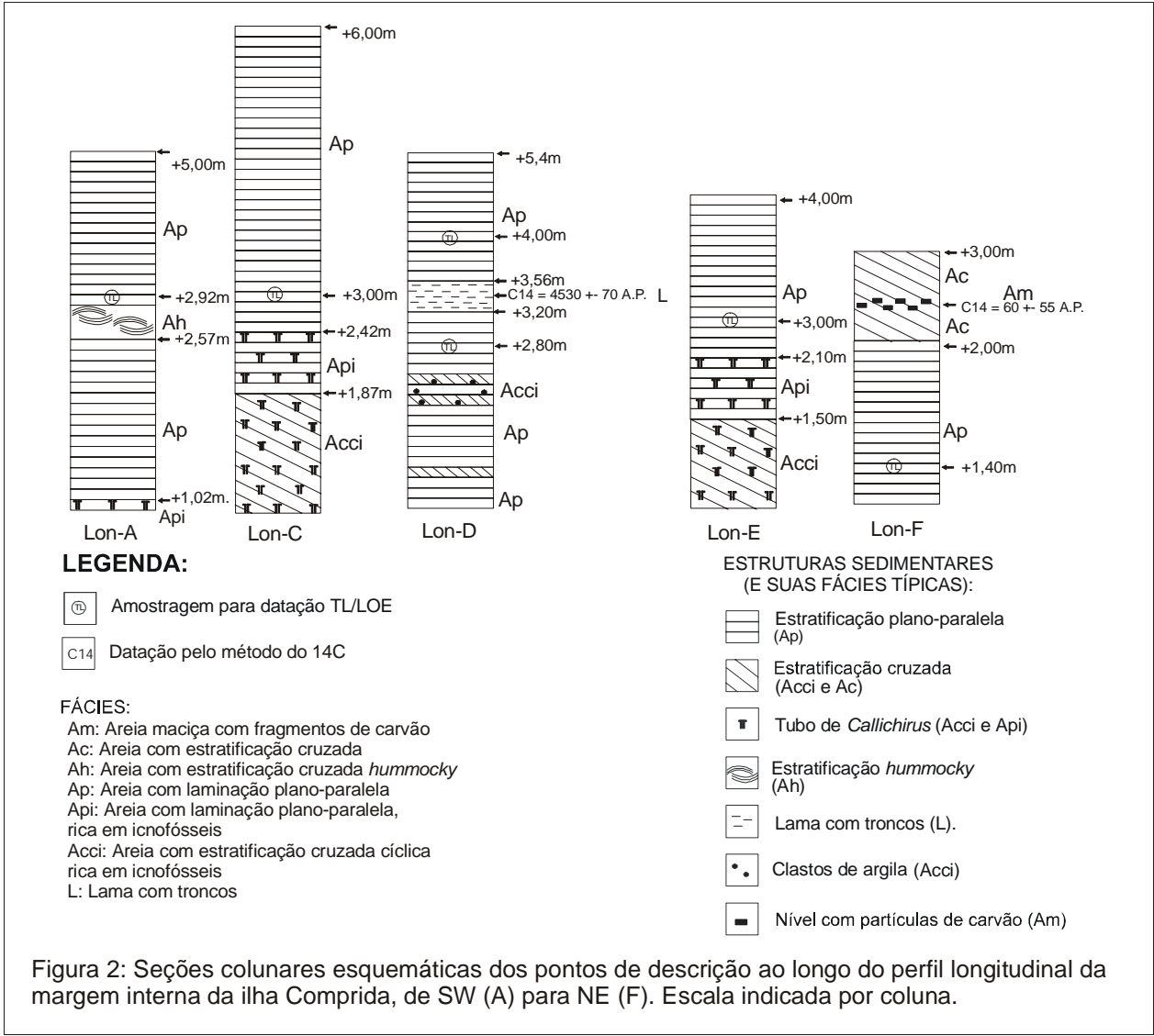
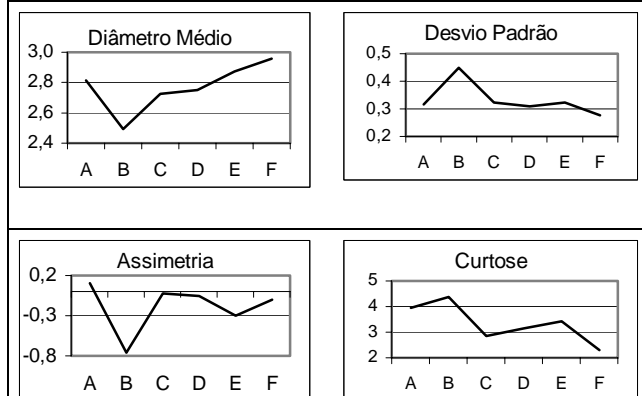
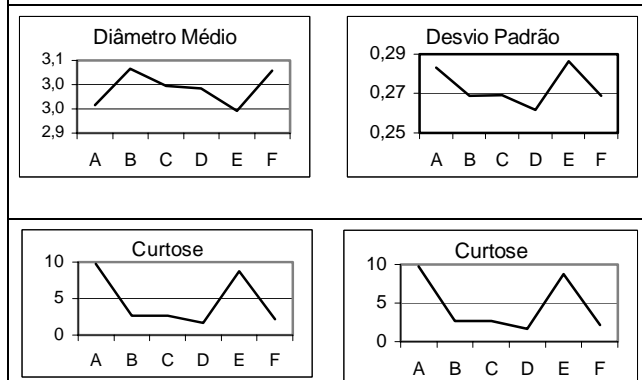
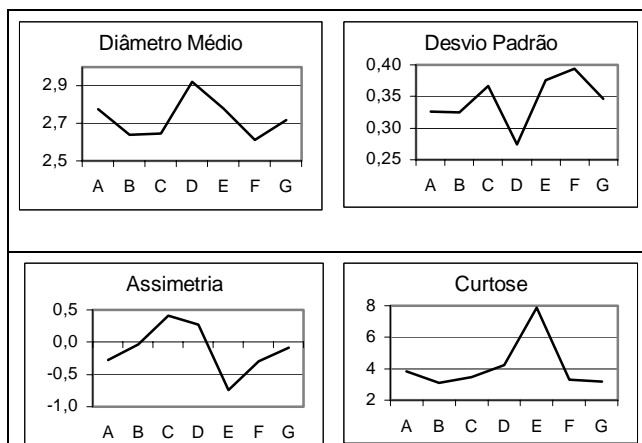


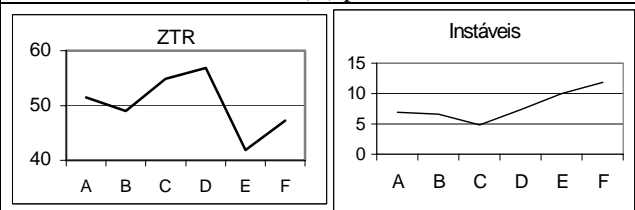
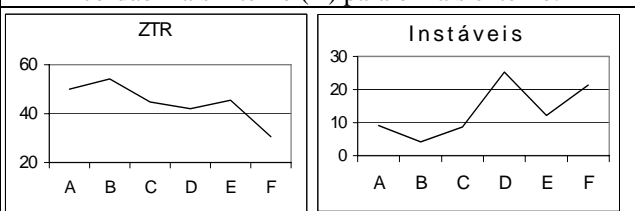
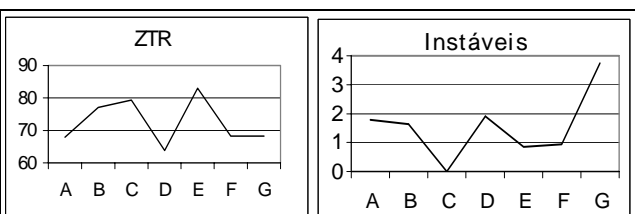
Figura 2: Seções colunares esquemáticas dos pontos de descrição ao longo do perfil longitudinal da margem interna da ilha Comprida, de SW (A) para NE (F). Escala indicada por coluna.

O mais externo, correlato à fase histórica de forte crescimento longitudinal, é marcado pelo padrão inverso. Assim, as fases de acentuado crescimento longitudinal seriam marcadas, em ambos os transectos, por redução brusca de seleção granulométrica, enquanto os períodos de engorda caracterizam-se por melhora da seleção.



5. QUANTIFICAÇÃO DE MINERAIS PESADOS

Nos perfis perpendiculares aos feixes de cordões litorâneos, é possível reconhecer, do cordão mais interno (mais antigo) para o mais externo, duas tendências de variação sutis e descontínuas na assembléia de minerais pesados: a redução no índice ZTR e o incremento na porcentagem dos minerais instáveis. Este padrão pode ser atribuído à maior dissolução pós-deposicional de minerais instáveis nos cordões mais antigos. Como efeito, tem-se empobrecimento relativo das areias destes cordões em minerais instáveis, com enriquecimento residual em minerais ultraestáveis.



Embora os padrões de variação de minerais pesados nos dois transectos sejam semelhantes, a assembléia mineralógica média do transecto nordeste (Figura 7) é nitidamente mais imatura que a do transecto sudoeste (Figura 6). A tendência de perda de maturidade de SW para NE é confirmada nos resultados do perfil longitudinal (Figura 8). Esta tendência é análoga à observada por Tessler (1988) em sedimentos ao longo da praia atual da ilha Comprida. Considerando que nas praias intermediárias e dissipativas do Sul-Sudeste brasileiro, a regra é de aumento de índice ZTR no sentido da deriva longitudinal, o padrão encontrado ao longo da praia e da

margem interna da ilha Comprida é oposto ao esperado, caso a deriva litorânea longitudinal seja voltada para NE, rumo dominante no litoral sul paulista em geral e também aceito para a ilha Comprida (Tessler 1988). Mesmo que se considere o padrão de deriva longitudinal algo mais complexo sugerido por Souza (1997), em que duas células de deriva divergem (fornecem sedimentos) no setor centro-sul da ilha, o padrão de deriva, sozinho, não é suficiente para explicar a distribuição longitudinal de minerais pesados encontrada. Esta distribuição pode, portanto, ser atribuída a uma particularidade da dinâmica costeira da ilha, qual seja a maior influência do aporte de sedimentos “novos”, ricos em instáveis, na extremidade nordeste, através do aporte das desembocaduras (Icapara e Ribeira) ligadas ao rio Ribeira de Iguape (Tessler 1988). O transecto sudoeste localiza-se a sotamar (a SW) da célula de deriva litorânea sudoeste identificada por Souza (1997), o que pode explicar sua maior maturidade mineralógica. Enquanto isso, o perfil nordeste seria influenciado não somente pela célula de deriva para NE como também pelo aporte renovado do rio Ribeira de Iguape. O perfil sudoeste também se localiza na área de influência de uma desembocadura, a de Cananéia, a qual, no entanto, drena principalmente os sedimentos pleistocênicos, mais maduros mineralogicamente. O aporte de sedimentos “novos” na parte sudoeste da ilha seria, portanto, relativamente reduzido.

Outra explicação plausível para a maior maturidade mineralógica dos sedimentos da parte sudoeste da ilha é a idade mais antiga destes sedimentos, haja visto o seu crescimento gradual de SW para NE. Desse modo, os depósitos de sudoeste teriam sofrido maior tempo de atuação da dissolução pós-deposicional, com eliminação de minerais instáveis. Por raciocínio análogo, a maior maturidade mineralógica das areias do perfil sudoeste poderia ser explicada ainda pela presença de sedimentos pleistocênicos no interior da ilha nesta área, admitida no mapa de Suguio & Martin (1978). Um ponto a desfavor destas hipóteses é que maturidades relativamente altas, se comparadas as do perfil nordeste, são encontradas inclusive na amostra de praia adjacente ao perfil sudoeste.

A hipótese de existência de terraço pleistocênico no interior do terço sudoeste da ilha Comprida também não encontra suporte nos resultados de variação mineralógica ao longo do transecto sudoeste, onde, de acordo com o mapa de Suguio & Martin (1978), dever-se-ia atravessar o contato entre esta formação e as areias holocênicas. A análise da variação de assembléias de minerais pesados, em função da idade, em outras planícies de cordões do litoral sul paulista e paranaense, tem revelado a freqüente presença de queda abrupta de maturidade no contato Pleistoceno/Holoceno, relacionado à diminuição brusca de idade e de grau de dissolução pós-deposicional. No sul da ilha Comprida, entretanto, nenhuma mudança brusca de maturidade foi observada, mas somente a mesma variação sutil similar à encontrada no perfil nordeste da ilha que, de acordo com o mesmo mapa, atravessa apenas sedimentos holocênicos.

6. CONCLUSÕES

1. A sucessão vertical de fácies encontradas nas falésias de retro-barreira é indicativa de avanço da barreira rumo NE, por sobre depósitos de desembocadura lagunar.

2. Com base no nivelamento das feições faciológicas típicas de terraço de baixamar, em relação ao nível de maré mínima média atual, presume-se que tanto o alinhamento de cordão mais interno quanto o extremo sudoeste da ilha (onde não há alinhamento visível) formaram-se sob NRM não mais que 3 m superior ao presente. A idade holocênica do cordão mais interno, na parte sudoeste da ilha é confirmada por datações ^{14}C (4530 anos AP no ponto D do perfil longitudinal) e LOE (5600 anos AP no ponto A do transecto sudoeste). Ainda com base no nivelamento das fácies, o paleonível mais altos do perfil longitudinal estudado encontra-se no ponto C, em Pedrinhas, caindo a partir daí tanto para SW como, de modo gradual, para NE. Com base nesses dados, é possível sugerir que a porção da ilha a SW de Pedrinhas tenha-se formado sob NRM ascendente, antes do máximo de 5100 AP, enquanto os dois terços nordeste da ilha teriam progradado durante o declínio do NRM posterior a essa data.

2. Ao longo do perfil longitudinal, bem como na comparação entre os dois perfis transversais, observa-se tendência para areias mais finas e selecionadas rumo NE, o que confirma o predomínio, em escala maior, de paleocorrente de deriva litorânea longitudinal neste rumo.

3. O padrão de variação transversal de granulometria é compatível com a hipótese de retrabalhamento gradual e sucessivo dos cordões, na fase de acentuação da engorda lateral, e de renovação do aporte, nas fases de intensificação da deriva longitudinal. Já a queda gradual de maturidade mineralógica nos cordões mais novos pode ser atribuída à disponibilização seletiva de minerais menos densos (em sua maioria, instáveis e metaestáveis) no decorrer da regressão ou, mais provavelmente, ao menor efeito da dissolução pós-deposicional.

4. A assembléia de minerais pesados transparentes não micáceos, analisada na fração areia muito fina, revela tendência para queda de ZTR ao longo de um mesmo alinhamento de cordão, no rumo de deriva geral interpretado (para NE). Caso determinado pela deriva litorânea dominante, este tipo de variação contraria o padrão mais encontrado em praias dissipativas-intermediárias do Sul-Sudeste brasileiro. Há pelo menos duas explicações para isto. A primeira, baseada na variação de mineralogia ao longo da praia atual, evoca o aporte de sedimentos fluviais relativamente imaturos pela desembocadura do rio Ribeira de Iguape, posicionada junto à terminação nordeste da ilha. A segunda explicação baseia-se no fato de que os cordões se tornam cada vez mais novos rumo NE. Desse modo, as areias da parte sudoeste da ilha seriam mais afetadas pela dissolução pós-deposicional e pelo efeito de enriquecimento residual da assembléia em minerais ultraestáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GIANNINI, P.C.F.; GUEDES, C.C.F.; ANGULO, R.J.; ASSINE, M.L.; SOUZA, M.C.; MORI, E.K. 2003. Geometria de cordões litorâneos e espaço de acomodação

sedimentar na ilha Comprida, litoral sul paulista: modelo baseado em aerofotointerpretação. (Neste evento).

SOUZA, C.R.G. 1997. As células de deriva litorânea e a erosão nas praias do Estado de São Paulo. São Paulo, IG-USP, Tese de Doutorado (inéd.) 2v.

SUGUIO, K. & MARTIN, L. 1978. Mapas Geológicos da Planície Costeira do Estado de São Paulo e Sul do Rio de Janeiro (1:100.000). São Paulo, DAEE / Secr. de Obras e Meio Ambiente. Governo do Estado de São Paulo.

TESSLER, M.G. 1988. Dinâmica Sedimentar Quaternária no Litoral Sul Paulista. São Paulo, IG-USP, Tese de Doutorado (inéd.), 1 mapa, 276p