

EPISÓDIOS DE DEPOSIÇÃO EÓLICA QUATERNÁRIA NO LITORAL CENTRO-SUL DE SANTA CATARINA: CORRELAÇÃO COM VARIAÇÕES DO NÍVEL RELATIVO DO MAR BASEADA EM IDADES TL E LOE

André Oliveira Sawakuchi¹; Paulo César Fonseca Giannini²; Caroline Thaís Martinho¹.

¹Pós-graduando em Geologia Sedimentar, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, bolsista FAPESP
e-mail: sawakuchi@yahoo.com, ctmartinho@hotmail.com

²Prof. Dr. do Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, Instituto de Geociências,
Universidade de São Paulo. e-mail: pcgianni@usp.br

RESUMO

Os depósitos eólicos costeiros quaternários do litoral centro-sul catarinense compreendem dois episódios de sedimentação eólica (seqüências deposicionais eólicas 1 e 2). Estas duas seqüências eólicas são separadas entre si por uma inconformidade. A seqüência eólica 1, mais antiga, é correlacionada ao nível do mar alto do interglacial *Riss-Würm* e a seqüência eólica 2, mais nova e com campos de dunas em atividade, foi gerada pela elevação do nível do mar ocorrida após o período glacial *Würm*. A correspondência destes dois episódios de deposição eólica com fases de nível do mar em ascensão ou alto é confirmada por idades TL e LOE.

ABSTRACT

The Quaternary coastal eolian deposits of the Santa Catarina State (south Brazil) comprise two eolian sedimentation episodes (eolian depositional sequences 1 and 2). These two eolian sequences are separated by an unconformity. The eolian sequence 1, older, is correlated to the sea level rise of the *Riss-Würm* interglacial period and the eolian sequence 2, younger and with active dunefields, was generated by the sea level rise occurred during the post-*Würm* period. The correspondence between these two eolian depositional episodes and sea level highstands phases is confirmed by thermoluminescence and optical stimulated luminescence ages.

Palavras Chaves: sistema deposicional eólico costeiro, nível do mar, estratigrafia de seqüências

INTRODUÇÃO

Os depósitos eólicos representam parcela significativa do registro estratigráfico. Historicamente, predomina a tendência em interpretar sua formação com ênfase em variáveis climáticas. No entanto, têm-se destacado, nas últimas décadas, estudos sobre o papel do nível do mar na origem e evolução de sistemas deposicionais em geral. O controle exercido pelo nível relativo do mar (NRM) na construção do registro estratigráfico tornou-se um paradigma da geologia sedimentar. Sob este paradigma, foi elaborado o modelo da estratigrafia de seqüências, que divide os depósitos sedimentares em unidades estratigráficas (seqüências deposicionais) separadas entre si por inconformidades (limite de seqüências) ou conformidades correlativas geradas durante fases com NRM em declínio. O caráter cíclico e regional das variações do NRM confere elevada capacidade de correlação e previsão a este modelo. Concebido de início para interpretar o registro estratigráfico observado em seções sísmicas, ele foi depois aplicado, com adaptações, a afloramentos, testemunhos de sondagem e perfis de sondagens geofísicas. Nesta escala, é fundamental o conhecimento de como o NRM se relaciona com a dinâmica dos diversos sistemas deposicionais. Neste contexto, insere-se o problema motivador deste estudo: a análise da correlação entre sistemas deposicionais eólicos costeiros e variações do NRM ocorridas durante o Quaternário tardio.

SISTEMAS EÓLICOS COSTEIROS QUATERNÁRIOS E VARIAÇÃO DO NÍVEL DO MAR

Alguns autores associam o desenvolvimento de sistemas eólicos costeiros quaternários à queda do NRM (Wright, 1963; Coetzee, 1975/1976; Hobday, 1977). Os sistemas eólicos seriam originados pelo retrabalhamento de sedimentos da plataforma expostos durante a regressão forçada (Figura 1). Entretanto, nestas condições, a manutenção de sistemas eólicos por longo tempo é improvável, pois a exposição dos sedimentos da plataforma acima do nível de maré alta favorece sua estabilização por cimentação precoce, pedogênese ou vegetação. Outros autores relacionam a formação de sistemas eólicos costeiros a fases com NRM em ascensão (Cooper, 1958; Pye & Bowman, 1984; Giannini & Santos, 1994). A elevação do NRM induziria erosão costeira para restabelecer o perfil de equilíbrio da superfície deposicional. Sob regime de ventos e granulometria adequados, os sedimentos em desequilíbrio na zona de intermarés seriam transportados também para o continente, podendo formar campos de dunas. Um novo equilíbrio seria atingido com o término da fase de NRM ascendente e o esgotamento da fonte sedimentar eólica. Nesta hipótese, a fonte de sedimentos eólicos é a zona de intermarés, a qual se encontra com excesso de sedimentos e fora da ação dos processos capazes de interromper o suprimento (Figura 1).

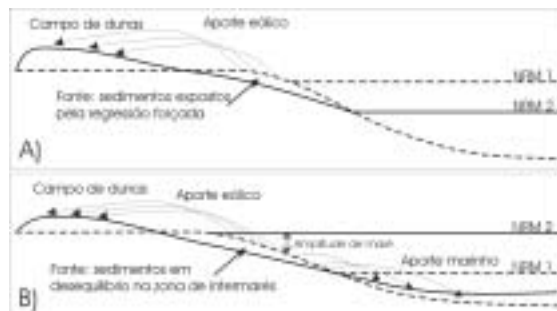


Figura 1 - Desenvolvimento de sistemas deposicionais eólicos durante fases com nível do mar em declínio (A) e ascensão (B).

SISTEMAS DEPOSICIONAIS EÓLICOS COSTEIROS (MODELO CONCEITUAL)

A manutenção de um fluxo de sedimentos eólicos, constante o suficiente para a formação de campos de dunas, depende da interação entre diversas variáveis, as quais determinam a disponibilidade e as características dos sedimentos na fonte, bem como o seu transporte.

O transporte eólico ocorre quando os sedimentos disponíveis na fonte encontram-se incoesos e a velocidade do vento atuante é maior que a velocidade limiar de transporte dos grãos. A ocorrência de chuva desfavorece o transporte eólico, pois aumenta a coesão dos sedimentos. A velocidade limiar de transporte depende essencialmente do diâmetro dos grãos (admitida a premissa de que, nos sedimentos arenosos predominantemente quartzo-feldspáticos, a densidade e a forma dos grãos apresentam pequena variação). Assim, a distribuição granulométrica da fonte deve possuir quantidade significativa de grãos com diâmetro semelhante e velocidade limiar de transporte inferior à velocidade dos ventos atuantes. Desta forma, o transporte eólico pode ser descrito como produto de uma sucessão de condições (Figura 2).



Figura 2 - Ocorrência de transporte eólico como produto de uma sucessão de condições. V_v é a velocidade do vento atuante e V_g é a velocidade limiar de transporte dos grãos.

A simples satisfação da sucessão de condições mencionadas não é suficiente para que o transporte eólico se manifeste na formação de campos de dunas. Para tanto, as condições devem associar-se de tal modo que o transporte eólico seja mantido por certo período de tempo. Assim, o modo de associação entre as variáveis, no que se refere à frequência e distribuição no tempo, pode ser fator determinante na iniciação e desenvolvimento de campos de dunas.

A disponibilidade de sedimentos para o transporte eólico é a condição básica inicial para formação de campos de dunas. Ela é determinada pelo volume de sedimentos disponíveis na zona intermarés. A elevação do NRM gera espaço para acomodação de sedimentos na

plataforma (borda da bacia). Ao mesmo tempo, a subida do NRM pode gerar excesso de sedimentos na antepaia, em relação ao perfil de equilíbrio da superfície deposicional. Os sedimentos em excesso na zona de intermarés podem assim alimentar um campo de dunas costeiro, como decorrência da erosão costeira necessária para o restabelecimento do perfil de equilíbrio (Giannini & Santos, 1994). A acumulação e preservação do sistema eólico costeiro depende da taxa de subida do NRM. Se houver fase transgressiva com taxa de subida elevada, o afogamento rápido dos sedimentos colocados em desequilíbrio e a migração rápida do sítio de acumulação diminuem a probabilidade de combinação de condições favoráveis ao transporte eólico. Mesmo que estas condições ocorram, os sedimentos eólicos acumulados durante a fase transgressiva com alta taxa de subida do NRM apresentariam baixo potencial de preservação, pois poderiam ser erodidos e retrabalhados pela transgressão.

A diminuição da taxa de subida do NRM possibilita a intensificação do preenchimento do espaço de acomodação gerado durante a fase de transgressão. Este preenchimento é caracterizado pela progradação dos sistemas deposicionais costeiros e pode persistir com o NRM alto e estável (manutenção do espaço de acomodação) ou em queda lenta (redução do espaço de acomodação). Desta forma, durante a fase de desaceleração da subida de NRM, há acúmulo de sedimentos nas porções marginais da bacia, os quais podem alimentar um campo de dunas costeiro. Os depósitos eólicos gerados apresentariam portanto maior potencial de preservação devido à inexistência de erosão costeira.

Durante fases com NRM em declínio rápido ou baixo, ocorre trânsito ("bypass") de sedimentos na plataforma, pois não há espaço de acomodação. Os sedimentos são transportados para as porções mais internas da bacia. Assim, não se dispõe sedimentos para alimentar sistemas eólicos. Além disto, a queda do nível de base pode provocar erosão por incisão fluvial dos depósitos eólicos acumulados anteriormente.

Portanto, o desenvolvimento de sistemas eólicos costeiros depende de fatores climáticos (frequência de chuvas e velocidade do vento), que condicionam o transporte eólico, e do nível do mar, que é um dos principais condicionantes da disponibilidade de sedimentos para este transporte.

ESTRATIGRAFIA DOS DEPÓSITOS EÓLICOS QUATERNÁRIOS DO LITORAL CENTRO-SUL CATARINENSE: EPISÓDIOS DE DEPOSIÇÃO EÓLICA

Giannini (1993) subdividiu os depósitos eólicos da planície costeira sul-catarinense em quatro unidades, as quais denominou gerações eólicas 1, 2, 3 e 4. Estas unidades são diferenciadas entre si por critérios faciológicos, sedimentológicos e de grau de pedogênese e dissecação. As gerações eólicas 1 e 2 são separadas entre si por superfície caracterizada por feições erosivas e pedogenéticas, a qual denota a ocorrência de hiato deposicional entre elas. Em contraste, as observações utilizadas na definição das gerações eólicas 2, 3 e 4 não

permitem interpretar a existência de hiato deposicional generalizado entre estas três unidades. Em alguns locais, observa-se continuidade da deposição eólica entre as gerações 2 e 4 e entre as gerações 3 e 4. Desta forma, as gerações eólicas 1, 2, 3 e 4 compreendem dois episódios de deposição eólica regional, os quais Giannini (1993) relacionou às elevações eustáticas dos interglaciais *Riss-Würm* e pós-*Würm*. Estes dois episódios de deposição eólica podem ser considerados seqüências deposicionais (Giannini *et al.*, 2001), aqui denominadas seqüências eólicas 1 e 2.

A seqüência eólica 1 é formada predominantemente por areia fina, maciça, bem selecionada e com elevado grau de pedogênese e dissecação (figuras 3 e 4). No topo desta unidade pode ocorrer paleossolo com marcas de raízes e horizontes com concentrações de cascalho. Esta unidade apresenta-se lateralmente descontínua, atingindo espessura decamétrica.

A seqüência eólica 2 é composta por areia fina, bem selecionada, com freqüente preservação de estruturas primárias, tendo dissecação incipiente e graus de pedogênese e coesão variáveis (figuras 3 e 4). Apresenta morfologia eólica preservada e encontra-se em parte truncada pelo sistema lagunar gerado no âmbito da transgressão holocênica. Abrange os campos de dunas livres atuais e fácies de dunas vegetadas ativas ou estabilizadas.

As seqüências eólicas 1 e 2 são separadas entre si por uma superfície erosiva (figuras 3 e 4) evidenciada pelo elevado grau de pedogênese, cimentação e dissecação da seqüência eólica 1.



Figura 3 - Contato entre as seqüências eólicas 1 e 2 evidenciado por uma superfície de descontinuidade física
Localidade de Guaiúba.



Figura 4 - Contato entre as seqüências eólicas 1 e 2 evidenciado por uma superfície de descontinuidade física
Localidade de Santa Marta.

CORRELAÇÃO ENTRE OS EPISÓDIOS DE DEPOSIÇÃO EÓLICA E A CURVA DE VARIAÇÃO DO NÍVEL RELATIVO DO MAR NO QUATERNÁRIO TARDIO DO LITORAL CENTRO-SUL CATARINENSE

Supondo-se a existência de condições climáticas que possibilitassem o transporte eólico regular no litoral centro-sul catarinense durante o Quaternário tardio, a ocorrência de campos de dunas seria condicionada pela disponibilidade de sedimentos na zona de intermarés. Portanto, de acordo com o modelo apresentado, a presença de campos de dunas na costa centro-sul catarinense ocorreria durante fases com NRM ascendente ou alto.

O padrão de variação do NRM dos últimos 120.000 anos, sugerido por dados coletados na costa e plataforma brasileira, segue a tendência glacioeustática global. Durante este período houve duas fases com nível do mar alto. A fase mais antiga, correspondente ao interglacial *Riss-Würm*, atingiu seu máximo NRM (cerca de 8 m acima do nível do mar atual) por volta de 120.000 anos AP (Martin *et al.*, 1988). Durante o último máximo glacial, o NRM esteve cerca de 130 m abaixo do atual. A fase mais nova iniciou-se após o período glacial *Würm*. Esta fase encontra-se em andamento e atingiu na costa brasileira um máximo NRM de $3,5 \pm 1,0$ m acima do nível atual em cerca de 5.100 anos AP (Suguio *et al.*, 1985). Na costa centro-sul catarinense, Angulo *et al.* (1999) determinaram que em 5.400 anos AP, o NRM esteve cerca de $2,5 \pm 0,5$ m acima do nível atual.

De acordo com o modelo proposto, e considerando a existência de condições climáticas que permitissem o transporte eólico e a geração de campos de dunas, a seqüência eólica 1 teria se desenvolvido durante a fase com NRM alto correspondente ao interglacial *Riss-Würm* (máximo NRM em cerca de 120.000 anos AP). O desenvolvimento da seqüência eólica 2 seria decorrência do retrabalhamento eólico dos sedimentos acumulados durante a fase de NRM em ascensão ou de mar alto estável (*stillstand*) subsequente ao período glacial *Würm*. Portanto, este episódio de deposição eólica corresponderia ao interglacial pós-*Würm*.

A cronologia das seqüências eólicas 1 e 2 foi estabelecida a partir de idades TL (termoluminescência) e LOE (luminescência opticamente estimulada). Assim, tornou-se possível checar a proposta de correlação entre os episódios de deposição eólica e as duas últimas fases com NRM ascendente ou alto. As idades obtidas na seqüência eólica 1 devem ser analisadas levando-se em consideração a distinção entre fácies eólicas de acumulação e fácies eólicas residuais de deflação. Estes dois tipos de fácies ocorrem respectivamente na base e no topo da unidade. As fácies eólicas de acumulação compreendem areias finas, bem selecionadas, maciças ou com estratificações cruzadas (Figura 5). As fácies eólicas residuais são maciças e apresentam concentração de areia grossa ou cascalho e paleossolos (Figura 5). Sua deposição definitiva pode ter sido precedida por longo período de retrabalhamento de sedimentos eólicos preexistentes. A concentração de grânulos no topo desta unidade evidencia a predominância de processos deflacionares. Portanto, trata-se de um retrabalhamento sem acumulação eólica, o que caracteriza uma fase de deflação e erosão da acumulação pretérita. Na localidade de Guaiúba (Laguna, SC), a porção inferior da seqüência eólica 1, composta por fácies eólicas de acumulação, apresentou idades entre 175.000 ± 20.000 e $104.000 \pm$

12.000 anos AP (Figura 5). Em Santa Marta (Laguna, SC) obteve-se uma idade de 102.000 ± 15.000 para a base desta unidade (Figura 5). As fácies eólicas residuais do topo da seqüência 1 possuem idades entre 66.000 ± 8.000 e 30.400 ± 3.500 anos AP, em Guaiúba, de 61.000 ± 8.000 A., em Santa Marta, e de 51.000 ± 7.000 anos AP, em Ribanceira do Sul (Imbituba, SC). Logo, a seqüência eólica 1 seria pleistocênica, com idade inicial anterior ao penúltimo máximo NRM (120.000 anos AP). A comparação entre as idades da base e do topo desta seqüência permitem interpretar a persistência do retrabalhamento eólico por longo período de tempo após a fase inicial, de acumulação.

A base da seqüência eólica 2 apresentou idades entre 23.000 ± 3.000 e 9.400 ± 900 anos AP, na localidade de Guaiúba, e de 8.600 ± 1.100 anos AP, em Santa Marta. Com exceção da idade de 23.000 ± 3.000 anos AP, obtida em Guaiúba (Figura 5, seção E), que pode representar fácies eólica residual da base da seqüência eólica 2 ou topo da 1, as demais idades da base desta unidade são todas posteriores ao máximo glacial Würm e pouco anteriores ou contemporâneas à fase de desaceleração da subida de NRM.

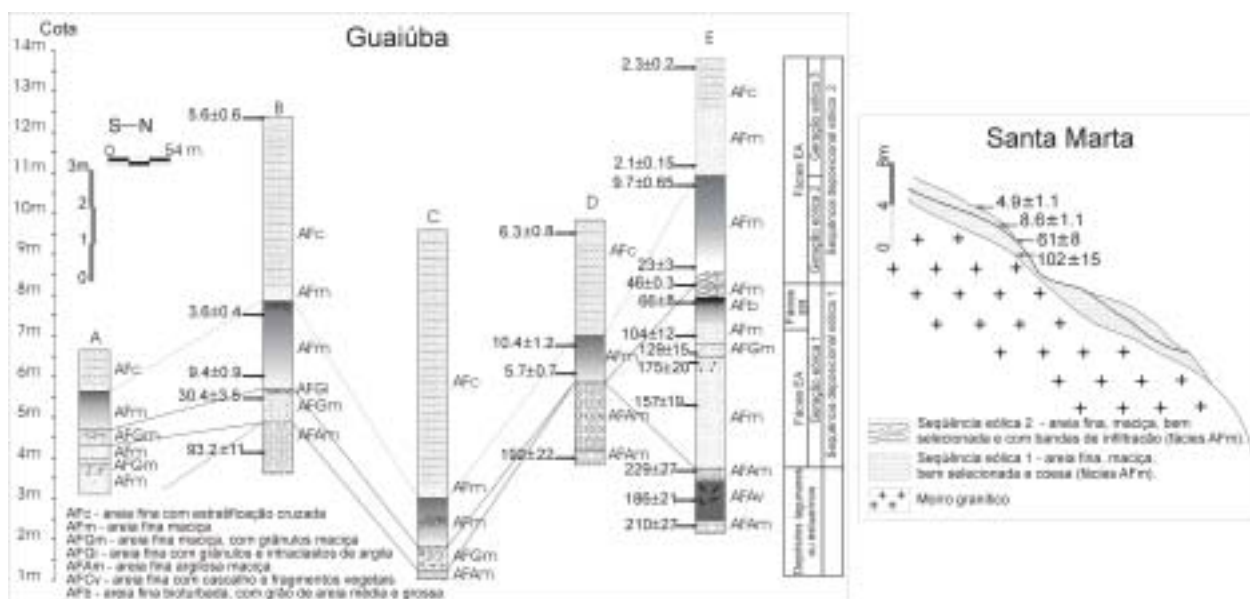


Figura 5 - Idades (TL e LOE) e fácies das seqüências eólicas 1 e 2 descritas nas localidades de Guaiúba e Santa Marta (Laguna, SC).

As idades TL e LOE fortalecem a hipótese de correspondência entre os episódios de acumulação eólica da costa centro-sul catarinense e as duas últimas fases do Quaternário com NRM alto (interglaciais Riss-Würm e pós-Würm). O hiato deposicional existente entre as seqüências eólicas 1 e 2 seria produto do esgotamento da fonte sedimentar eólica induzido pela queda do NRM ocorrida durante o período glacial Würm (Figura 6). Durante a fase com NRM baixo, sem espaço para o acúmulo significativo de sedimentos na plataforma, os sedimentos derivados do continente seriam transportados

para porções mais centrais da bacia, desfavorecendo o aporte eólico.



Figura 6 - Diagrama espaço-tempo elaborado a partir das seções levantadas na escarpa de Guaiúba (Laguna, SC). Dados de variação do NRM compilados de Martin *et al.* (1988), Corrêa (1996), Angulo & Lessa (1997) e Angulo *et al.* (1999).

CONCLUSÕES

O controle exercido pelo nível do mar na disponibilidade de sedimentos costeiros para o transporte eólico é confirmado pela correspondência entre os episódios de deposição eólica e fases com NRM ascendente ou alto observada no litoral centro sul-catarinense. Dada a similaridade das variações do NRM durante o Quaternário tardio, deve haver depósitos eólicos correlatos às seqüências eólicas 1 e 2 em localidades da costa brasileira cujo regime climático pretérito tenha permitido a manutenção de um transporte eólico regular. A relação entre o nível do mar e o desenvolvimento de sistemas deposicionais eólicos costeiros serve de base para integração deste tipo de sistema ao modelo da estratigrafia de seqüências. Os sistemas eólicos costeiros fariam parte de tratos de sistemas transgressivo ou de mar alto, com maior potencial de preservação dos depósitos no trato de mar alto. A associação entre episódios de deposição eólica e o nível do mar, o qual é uma variável com comportamento cíclico e abrangência regional, pode ser usada como critério de correlação entre sucessões eólicas, cuja homogeneidade faciológica constitui um dos problemas clássicos da estratigrafia.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processos 01/01732-8, 01/01013-1 e 01/11732-5.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGULO, R.J. & LESSA, G.C. 1997. The Brazilian sea-level curves: a critical review with emphasis on the curves from the Paranaguá and Cananéia regions. *Marine Geology*, **140**: 141-166.
- ANGULO, R.J.; GIANNINI, P.C.F.; SUGUIO, K.; PESSENDA, L.C.R. 1999. Relative sea-level changes in the last 5500 years in southern Brazil (Laguna-Imbituba region, Santa Catarina State) based on veritid ^{14}C Ages. *Marine Geology*, **159**: 323-339.
- COETZEE, F. 1975/1976. Coastal aeolianites at Black Rock, northern Zululand. *Trans. Geol. Soc. S. Afr.*, **78**: 313-322.
- COOPER, W.S. 1958. The coastal sand dunes of Oregon and Washington. *Geol. Soc. Am. Mem.*, **72**: 169 p.
- CORREA, I.C.S. 1996. Les variations du niveau de la mer durant les derniers 17.500 ans PB: l'exemple de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul-Brésil. *Marine Geology*, **130**: 163-178.
- GIANNINI, P.C.F. 1993. *Sistemas Depositionais no Quaternário Costeiro entre Jaguaruna e Imbituba, SC*. São Paulo, Inst. Geoc. Univ. S. Paulo. Tese de Doutorado (Inéd.) 2v, 2 mapas, 439p..
- GIANNINI, P.C.F. & SANTOS, E.R. 1994. Padrões de variação espacial e temporal na morfologia de dunas de orla costeira no centro-sul catarinense. *Bol. Paran. Geociênc.*, **42**: 73-96.
- GIANNINI, P.C.F.; SAWAKUCHI, A.O.; MARTINHO, C.T. 2001. A estratigrafia de seqüências na evolução das dunas costeiras de Santa Catarina, Sul do Brasil. In: CONGRESSO DO QUATERNÁRIO DOS PAÍSES DE LÍNGUA IBÉRICA, 1, Lisboa. *Actas*, GTPEQ., AEQUA, SGP. p. 117-120.
- HOBDAV, D.K. 1977. Late Quaternary history of Inhaca Island, Mozambique. *Trans. Geol. Soc. S. Afr.*, **80**: 189-191.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K. & FLEXOR, J.N. 1988. Hauts niveaux marins pleistocenes du litoral bresilien. *Palaeogeog., Palaeoclimat., Paleoecol.*, **68**(3):231-239.
- PYE, K. & BOWMAN, G.M. 1984. The Holocene Marine Transgression as a Forcing Function on Episodic Dune Activity on The Eastern Australian Coast. In: THOM, B.G. (ed.), *Coastal Geomorphology in Australia*. Academic Press, Sydney, p. 115-127.
- SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J.M. & AZEVEDO, A.E.G. 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior a longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Rev. Bras. Geocien.* **15**(4): 273-286.
- WRIGHT, H.E. 1963. Late Pleistocene geology of coastal Lebanon. *Quaternaria*, **6**: 525-539.