

MORFOLOGIA E IMPLICAÇÕES CLIMÁTICAS NAS ZONAS INTERDUNARES NA PLANÍCIE QUATERNÁRIA COSTEIRA DO RIO SÃO FRANCISCO

Liana Maria Barbosa, Depto de Ciências Exatas/UEFS. liana@uefs.br
José Maria Landim Dominguez, CPGG/UFBA. landim@ufba.br

1 INTRODUÇÃO

As interdunas, em geral, são descritas como uma superfície aplainada ou quase plana com zonas de deflação presentes entre dunas, sejam simples ou complexas. Podem ser classificadas como: interduna seca, molhada, úmida ou evaporítica (Ahlbrandt & Fryberger, 1981, Kocurek, 1981), contendo uma sedimentação relacionada com processos a curto ou em longo prazo. Essa sedimentação pode conter pólenes, diatomáceas, conchas e matéria orgânica (Winkler, 1992, Packham & Willis, 1997), passíveis de datação por serem indicadores variações sazonais e interanuais. Estudando as relações estratigráficas Hummel & Kocurek (1984) efetuaram uma comparação entre sistemas eólicos modernos e antigos de zonas interdunares, visando compreender a origem e formação dos depósitos antigos e a relação dos sistemas deposicionais fluvial/eólicos. Purvis (1991) descreveu as áreas interdunares nos campos de dunas na Tunísia e identificou cristas arqueadas seguindo o flanco dorsal das dunas, cuja origem atribuiu ao desenvolvimento de lagoas durante os eventos de inundação. Na costa brasileira, feições similares foram descritas por Fortes (1992), Dominguez *et al.* (1992), Dominguez & Barbosa (1994) e Barbosa (1997). Nos campos de dunas ativas do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, comparando fotografias de períodos diferentes e as taxas anuais de insolação, Fortes (1992) concluiu que o espaçamento entre duas cristas arqueadas é controlado pela duração dos índices de insolação. Para os campos de dunas costeiras do Nordeste do Brasil, Dominguez *et al.* (1992) consideraram que as cristas baixas arqueadas revelam as variações sazonais de migração das dunas ativas. Barbosa (1997) efetuou a contagem destas feições para medir a taxa relativa de migração das dunas na planície costeira associada à foz do Rio São Francisco. Aqui, serão enfatizadas às áreas interdunares identificadas na porção intermediária dos campos de dunas ativas da planície quaternária costeira do Rio São Francisco (SE/AL), visando apresentar a caracterização das interdunas e as implicações das variações sazonais/interanuais nessa região. Os depósitos eólicos cobrem cerca de 25 % da planície quaternária costeira do Rio São Francisco (Figura 1). Ocorrem duas gerações de dunas costeiras, uma inativa, já fixada pela vegetação e outra ativa, bordejando a linha de costa e avançando sobre a primeira. Estes campos de dunas apresentam domínios morfológicos bem definidos e facilmente visualizados em imagens de satélite e em fotos aéreas. Em cortes transversais à linha de costa ou acompanhando o sentido de migração das dunas ativas, foram individualizadas três províncias morfológicas ou subambientes sedimentares: (a) lençol de areia, que é a superfície arenosa adjacente à praia e de relevo negligenciável; (b) dunas isoladas e interdunas, que caracteriza a porção intermediária, onde ocorrem dunas isoladas, dunas conjugadas ou amalgamadas e regiões interdunares; (c) duna composta e de precipitação – corresponde à província morfológica mais interna do campo de dunas ativas, onde ocorrem as dunas de maior altura. A individualização da morfologia está fundamentada na dimensão e nas características das dunas (Barbosa, 1997).

Essa região compreende uma faixa costeira orientada NE-SW, com frentes de ondas aproximando-se do quadrante leste (40 a 50%), seguidas em importância pelas ondas de sudeste (S) e de nordeste (NE), alcançando períodos de 5 a 7 s e alturas de 1,5 a 2,0 m

(Hogben & Lumb, 1967). A zona costeira encontra-se em regime de mesomarés semidiurnas com média de 2.6 m em maré de sizígia. Essa região está submetida a 4 ou 5 meses secos durante o ano, clima semi-úmido, precipitação anual entre 1.500 a 1.800 mm. A estação seca se estende de setembro a fevereiro (primavera/verão) (Nimer 1989). A temperatura média anual é de 24 °C, com máxima absoluta de 38 a 40 °C e mínima absoluta de 12 °C. Regionalmente, através da carta climatológica mundial (Hastenrath & Lamb 1977), nota-se a dominância dos ventos superficiais, provenientes dos quadrantes E e SE, com velocidades médias entre 4 e 6 m/s.

2 METODOLOGIA

A metodologia adotada se fundamentou na revisão da literatura, interpretação de fotografias aéreas pancromáticas nas escalas 1:25.000 (SACS, 1960) e 1:70.000 (TERRAFOTO, 1971), dois sobrevôos em 29/10 e 02/11/1991 e trabalhos de campo em Novembro/1992 e Julho/1993, períodos correspondentes às estações seca e chuvosa respectivamente, para caracterização e coleta de amostras. Em campo, foram construídos quatro perfis topográficos, cruzando o campo de dunas. Foram analisados os dados meteorológicos diários e mensais obtidos nas estações Maceió e Aracaju dos seguintes anos: 1986 e 1992, bem como dados de precipitação dos postos Coruripe, Pindorama, Piaçabuçu e Maceió, no Estado de Alagoas e dos postos Pacatuba, Japarutuba e Aracaju, no Estado de Sergipe. Foi efetuada análise textural dos sedimentos, determinando a granulometria em intervalos de $\frac{1}{2}$ phi e a morfoscopia usando-se a comparação visual de Powers.

3 RESULTADOS

Na porção intermediária dos campos de dunas ativas da planície quaternária costeira associada à foz do Rio São Francisco apresenta uma região interdunar, aplainada e mais rebaixada, situada entre dunas isoladas ou conjugadas, caracterizada pela presença de numerosas cristas baixas arqueadas. As cristas baixas apresentam, em geral, de 3 a 20 m de largura, com poucos centímetros a 80 cm de altura. O espaçamento entre duas cristas pode ser visualizado e medido através das fotos aéreas e em campo. Na estação chuvosa, as regiões interdunares são marcadas por: (i) canais temporários, recortando transversalmente essa província e escoando para as praias, (ii) sedimentos semiconsolidados, de coloração ocre, constituindo uma superfície plana, medindo entre poucos centímetros a 20 cm de espessura, e (iii) lagoas temporárias, alongadas, instaladas nas zonas interdunares. Algumas destas lagoas apresentavam de 20 a 40 cm de profundidade e 6 a 20 m de largura, medida transversal à face de deslizamento da duna. A cobertura vegetal mostra-se mais densa nas porções mais internas dessa província, em direção ao continente. No setor a NE da foz do Rio São Francisco, a granulometria dos sedimentos varia de 1,94 ϕ a 3,15 ϕ . O resultado da morfoscopia indicou predominância de grãos sub-arredondados e esféricos. No setor a SW da foz do Rio São Francisco, a granulometria variou de 2,02 a 2,24 ϕ e o sedimentos exibiram grãos prismáticos e semi-discóides. A areia fina é dominante nos dois setores. Efetuando-se uma comparação entre os parâmetros precipitação e evaporação com a frequência direcional dos ventos efetivos (ventos com velocidade igual ou superior a 5 m/s), nas estações Maceió e Aracaju (Figura 2), identificam-se: (a) ventos de SE-S-SW, em geral, estão relacionados com um balanço de água atmosférica mais positivo, devido à maior concentração de chuvas e/ou menor evaporação. Esses ventos, portanto, estão relacionados com períodos de maior umidade, com sazonalidade melhor marcada na

estação Maceió; (b) ventos de E-NE-N, em geral, estão associados com um balanço de água atmosférica negativo ou com baixos índices positivos, resultantes da menor concentração de chuvas e/ou maior evaporação. Esses ventos estão associados com períodos secos. Na estação Aracaju, evidencia-se a maior incidência desses ventos. Esta relação também é verificada, independente da velocidade do vento, considerando-se somente a frequência direcional. É marcante a correlação entre o balanço de água aplicada à atmosfera e a frequência direcional dos ventos superficiais. Em campo, a atividade eólica intensa é reconhecida através das superfícies dunares, das superfícies de deflação e marcas de ondulação na superfície das dunas.

4 DISCUSSÃO

O ângulo formado pelo vento e a crista da duna determina, em grande parte, a dinâmica da duna (Hunter *et al.*, 1983, Tsoar, 1984, Hesp, 1992, Burkinshaw & Rust, 1993, Lancaster, 1995). Através de observações de dunas desérticas, Tsoar (1984) apresentou um modelo que caracteriza a ação de ventos em duas direções, sobre uma duna barcana simétrica. Nesse modelo, a duna sofre alongamento de um de seus braços, originando uma duna longitudinal. A combinação das ações do vento principal com o vento secundário provocou o crescimento assimétrico dos braços da duna. Isto ocorre quando as formas de leito são submetidas à ação de ventos em duas direções, com sentidos diferentes, apresentando maior efetividade na direção transversal à crista da duna. Nas dunas costeiras da Austrália, Hesp (1992) aplicou a classificação morfodinâmica de Hunter *et al.* (1983) e verificou, que o ângulo formado pela direção do vento com a crista da duna, define diferentes situações para o transporte de sedimentos ao longo da face de deslizamento. Isto ocorre da seguinte maneira: (a) o ângulo situa-se entre 70° e 90° , formam-se vórtices estacionários na separação de fluxo; deste modo os grãos depositam-se em avalanche ou por deslizamento no flanco frontal da duna; (b) o ângulo situa-se entre 15° e 70° , os ventos atuam obliquamente sobre o flanco dorsal e, ao cruzar a crista da duna, formam vórtices, desenvolvem efeito saca-rolha, que provoca a migração da areia numa trajetória sinuosa e lateralmente na superfície da face de deslizamento; (c) quando esse ângulo situa-se entre 0° e 15° , os ventos favorecem um fluxo paralelo à crista da duna e, deste modo, o comportamento é igual ao de uma duna longitudinal. Integrando-se a análise dos dados climáticos e aplicando-se o modelo de Tsoar (1984) e o raciocínio apresentado por Hesp (1992), explica-se o espaçamento variável entre as cristas baixas arqueadas. Esse espaçamento é identificado facilmente, e, ocorre em extensões variáveis. As dunas avançam no período seco principalmente sob influência do vento de leste. Na estação chuvosa, as pequenas lagoas instaladas nas zonas interdunares são submetidas à ação dos ventos, desenvolvendo ondas que originam praias em miniatura (Purvis 1991, Dominguez *et al.*, 1992). A fixação destas cristas se deve provavelmente ao desenvolvimento de uma franja de pedogenização no sopé do flanco dorsal da duna. Durante a estação chuvosa as dunas ficam estacionárias e a vegetação se desenvolve nas zonas interdunares. A perda de água por evaporação propiciaria a precipitação de sais, de carbonato de cálcio e de ácidos húmicos, promovendo semiconsolidação dos sedimentos no sopé do flanco dorsal da duna ou nas zonas interdunares. Na estação seca as dunas avançam, deixando para trás as praias em miniatura, que ficam preservadas e ressaltadas pelas cristas baixas arqueadas. Estas cristas, portanto, demarcam posições ocupadas pelas dunas no início da estação chuvosa, quando cessou o processo de migração da duna. Desse modo, a contagem dessas cristas permite estabelecer as taxas de migração para as dunas. A comparação de fotos aéreas

verticais de datas diferentes, bem como a contagem do espaçamento entre as cristas baixas, em campo, permitiram estabelecer as seguintes taxas de migração para as dunas: no setor I, de 11 a 28 m/a, com taxa média de 20 m/a; no setor II, de 16 a 36 m/a, com taxa média de 24 m/a. Essas taxas assemelham-se às apresentadas para outros campos de dunas costeiras. Isso significa que uma duna isolada, de 2 m de altura, levaria cerca de 100-200 anos para migrar desde a linha de costa atual até as posições mais internas. O espaçamento entre as cristas baixas arqueadas é variável, dentro de um mesmo setor (Figuras 3 e 4). Nos campos de dunas costeiras nos Lençóis Maranhenses, Fortes (1992) reconheceu associação entre o espaçamento das cristas baixas e o tempo de insolação na região. Para este autor, quando o tempo de insolação é maior, as dunas avançam por maiores distâncias. Isso faz sentido, desde que atividade eólica mais intensa está relacionada aos períodos mais secos. Contudo, na planície costeira do Rio São Francisco, pelas características fisiográficas (orientação da linha de costa e morfologia das dunas) e pelos padrões de incidência dos ventos, devem-se incluir razões adicionais na variação do espaçamento entre as cristas baixas arqueadas, isto é, a primeira deve-se ao amalgamento entre as formas de leito, e a segunda deve-se à concorrência entre os ventos de E, SE, NE e S.

As variações sazonais e interanuais são responsáveis pela maior ou menor taxa de migração entre as dunas. Nos anos de maior concentração de chuvas, os ventos dominantes são de S, SE e SW, desse modo o espaçamento entre as cristas baixas arqueadas tende a ser menor. De outro modo, em anos de menor concentração de chuvas, os ventos de E, NE e N serão favorecidos, e tenderão as maiores taxas de migração das dunas e, portanto, maior espaçamento entre cristas consecutivas. O vento de Leste é o principal responsável pela construção e migração das formas de leito na planície costeira do Rio São Francisco. Todavia, esse padrão de vento preferencial para a sedimentação eólica sofre interferência dos ventos de SE, NE e S. O vento de Nordeste está relacionado com períodos de menor pluviosidade e/ou maiores índices de evaporação, enquanto os ventos de Sudeste e de Sul estão associados aos períodos de maior pluviosidade e/ou menores índices de evaporação. Em função do alinhamento das praias, a ação destes ventos (SE e S) provoca erosão nos braços das dunas e gera um transporte de sedimentos em manto, numa direção oblíqua ou longitudinal à face de deslizamento das dunas. Essas conclusões baseiam-se em observações de campo e nos modelos de Tsoar (1984) e Hesp (1992). Desse modo, desenvolvem-se assimetria no corpo da duna e variação no espaçamento entre as cristas baixas, que será menor quanto maior for a influência dos ventos de Sudeste, de Sul ou de Nordeste. A taxa média de migração das dunas é de 20 m/ano para o setor NE e de 24 m/ano para o setor SW. Essa variação em ambos os lados da desembocadura do Rio São Francisco é atribuída à morfologia das dunas e uma maior extensão areal no setor a SW da foz desse rio. A partir desses dados e a largura dos campos de dunas, infere-se que uma duna de 2 m de altura leva cerca de 100 a 200 anos para alcançar a parte mais interna do campo de dunas ativas. Desse modo, a sedimentação eólica ativa na planície quaternária costeira do Rio São Francisco é relativamente recente, provavelmente entre 200 e 400 anos.

REFERÊNCIAS

ARHBRANDT, T.S.; FRYBERGER, S.G. Sedimentary features and significance of interdune deposits. **In: Etheridge, F.G.; Flores R.M. (eds) Recent and ancient nonmarine depositional environments: models for exploitation. Soc. Econ. Paleont. Min.. Spc. Publ., 1981. 31, p. 293 - 314.**

- BARBOSA, L.M. **Campos de dunas costeiras associados à desembocadura do Rio São Francisco (SE/AL): origem e controles ambientais**. Salvador: Universidade Federal da Bahia. 1997. 202 p. (inédito)
- BURKINSHAW, J.R.; RUST, I. Aeolian dynamic on the windward slope of a reversing transgressing dune, Alexandria coastal dunefield, South Africa. **In: Pye, K.; Lancaster, N.** (eds) *Aeolian sediments: Ancient and Modern*, Oxford: Spec.Publs Int. Ass. Sedim. 1993. 16, 13 – 21.
- DOMINGUEZ, J.M.L.; BARBOSA, L.M. Controls on the Quaternary evolution of the São Francisco strandplain: roles of sea-level history, trade winds and climate. **In: International Sedimentological Congress**, 14, Recife-Pernambuco, Brazil, IAS. 1994. 39p. (Field trip guide).
- DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; AND MARTIN, L. Controls on Quaternary coastal evolution of the East-Northeastern coast of Brazil: roles of sea level history, trade winds and climate. **In: Donoghue, J.F. et al.** (eds.) *Quaternary coastal evolution*. *Sedimentary Geology*, 1992. 80, 213 - 232.
- FORTES, F.P. As manchas solares e o passo das dunas. **In: Congresso Brasileiro de Geologia**, 37, São Paulo, 1992. Proceeding ... São Paulo: SBG. 1992.V. 2, pp. 297.
- HASTENRATH, S.; LAMB, P.J. **Climate atlas of the tropical Atlantic and Eastern Pacific oceans**. Wisconsin, The University of Wisconsin Press. 1977
- HESP, P.A.. Flow dynamics over transverse dunes. **In: Australia/New Zealand Geomorphology Research Group**. Proceeding ... Port Macquarie: NSW, 1992. pp. 33.
- HOGBEN, N.; LUMB, F.E. **Ocean waves statistics**. London, National Physical Lab., Ministry of Technology, 1967. 263p.
- HUMMEL, G.; KOCUREK, G. **Interdune areas of the back-island dune field, north Padre Island, Texas**. *Sedimentary Geology*, V. 39, p. 1-26. 1984.
- HUNTER, R.E.; RICHMOND, B.M.; ALPHA, T.R. **Storm-controlled oblique dunes of the Oregon coast**. *Geological Society of America Bulletin*, v. 94, p. 1450-1465. 1983.
- LANCASTER, N. **Geomorphology of desert dunes**. London. Routledge. 1995. 290 p.
- MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C.S.P. Climatic control of coastal erosion during a sea level fall episode. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**
- NIMER, E. 1989. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro, IBGE. 1998.421p.
- NOBRE, P.; SHUKLA, J. **Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the Tropical Atlantic and South America**. *Journal of Climate*, v. 9, n. 10, p. 2465-2479. 1996.
- PACKHAM, J.R.; WILLIS, A.J.. **Ecology of dunes, salt marsh and shingle**. London, Chapman & Hall. 1997. 331 p.
- PURVIS, K. **Stoss-side mud-drapes: deposits of interdune pond margins**. *Sedimentology*, 38:153-156. 1991.
- TSOAR, H.B-S.. **The formation of seif dunes from barchans - a discussion**. *Zeitschrift fuer Geomorphologie*. V. 28, n. 1, p. 99 - 103. 1984.
- WINKLER, M.G. 1992. **Development of parabolic dunes and interdunal wetlands in the Provincelandas, Cape Cod National Seashore**. *Quaternary Coasts of the United States: Marine and Lacustrine Systems*, SEPM Special Publication N. 48., p. 57 – 64.