

O PODER DO VENTO DURANTE O ÚLTIMO GLACIAL NA COSTA SUL-BRASILEIRA A PARTIR DA ANÁLISE DO TAMANHO DE GRÃOS EÓLICOS DE RAMPA ARENOSA

Julio Cesar PAISANI

Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Francisco Beltrão. Rua Maringá, 1200 – Vila Nova.
CEP 85605-010. Francisco Beltrão, PR. Endereço eletrônico: juliopaisani@hotmail.com

Introdução
Área de Estudo
Aspectos Gerais
Estratigrafia da Rampa Arenosa
Método
Resultados
Poder de Transporte do Vento
Sinal Paleoclimático do Índice Poder do Vento
Discussão
Conclusões
Referências Bibliográficas

RESUMO – O artigo investiga o poder do vento durante o último glacial na costa sul-brasileira a partir da análise do tamanho de grãos eólicos de rampa arenosa. Definiu-se um *índice poder de transporte do vento* ao longo do tempo e a correlação desse índice com as variações da paleotemperatura do Atlântico Sul. Os resultados apontam para uma tendência de aumento nos valores do índice poder do vento em frações grossas, como areia muito grossa e grânulo, em direção ao máximo do último glacial. Essa tendência exibe correlação estatística negativa com o declínio da paleotemperatura global. Conclui-se que o vento do quadrante sul foi responsável pelo transporte de areia para a rampa arenosa e que no último glacial o vento exibiu maior poder de transporte de grãos que no atual interglacial. Isso sugere maior fortalecimento das frentes polares e um deslocamento do Anticiclone Polar mais para o norte.

Palavras-chave: Indicadores paleoambientais, rampa arenosa, poder do vento, Quaternário Superior.

ABSTRACT – J.C. Paisani – *The power of the wind during the last glacial in the Brazilian South Coast from the analysis of the size of aeolic grains of sandy ramp.* The article investigates the power of the wind during the last glacial in the Brazilian South Coast from the analysis of the size of aeolic grains of sandy ramp. It was defined an index of wind power transportation through the time and the correlation of this index with the variations of paleotemperature of the Southern Atlantic. The results point out a tendency of the raise of the values of the index wind power in thick fractions, as very thick sand and granules, towards the major last glacial. This tendency shows negative statistic correlation with the decrease of global paleotemperature. We can conclude that the south quadrant was responsible for the transportation of the sand to the sandy ramp and that in the last glacial the wind showed bigger power of transportation of grain than the current interglacial. It suggests a strengthening of the Polar Fronts and the dislocation of the Polar Anticyclone more to the north.

Keywords: Proxy data, sand ramp, wind power, Late Quaternary.

INTRODUÇÃO

O sistema deposicional eólico, com respectivas superfícies geomorfológicas, se caracteriza como demarcador tanto de fases transgressivas quanto regressivas, contribuindo para compreender a evolução paleogeográfica costeira (Pye, 1993). Apesar de importantes informações paleogeográficas trazidas por estudos a respeito da sedimentação eólica na região sul (Suguio et al., 1985; Villwock et al., 1985; Tomazzeli, 1990; Bigarella, 2000), pouco se sabe sobre sua potencialidade quanto indicador de condições paleoclimáticas do Quaternário Superior. Em outras regiões do mundo, informações a respeito da direção de paleoventos têm sido obtidas analisando-se padrões de alinhamento de campo de dunas e tamanho de grãos

de quartzo em depósitos de loess (Lancaster, 1981; Rea & Leinen, 1988; Xiao et al., 1995).

Um dos tipos de depósito eólico com potencialidade para gerar informações paleoclimáticas e paleogeográfica é a rampa arenosa. O termo *rampa arenosa* tem sido utilizado para definir depósito estabelecido diante de obstáculo topográfico com fácies eólica interdigitada com fácies fluvial, de encosta e contendo níveis de paleossolos (Bigarella, 1974; Lancaster & Tchakerian, 1996; Thomas et al., 1997). Esse tipo de depósito é encontrado tanto em desertos quanto em áreas costeiras de diferentes zonas climáticas, sendo, na maioria das vezes, entendido como duna de cavalcamento (Paisani, 2004c).

No caso de rampas arenosas costeiras, estudos no litoral do Estado de Santa Catarina, zona subtropical, têm revelado fácies eólica interdigitada com fácies de encosta e presença de níveis de paleossolos (Bigarella, 1974; Herrmann, 1989; Paisani, 2004a). A fácies de encosta foi designada por Bigarella (1974) como fácies de dissipação, devido aos processos de retrabalhamento da rampa ao longo de sua evolução. Os processos seriam responsáveis tanto pela inclusão de sedimentos de encosta na rampa quanto pela mistura destes com sedimentos eólicos.

O tamanho de grão foi apontado como propriedade identificadora das fácies de dissipação em rampas arenosas (Bigarella, 1974), pois frações maiores que areia fina, a exemplo de areia muito grossa, não são frações comumente encontradas em depósitos eólicos (Ahlbrandt, 1979). Embora essa propriedade varie conforme a composição mineralógica, a fonte de

sedimentos e a competência do vento, Goudi (1995) menciona que durante períodos glaciais, quando a dinâmica atmosférica global era diferente da atual, o vento poderia ter maior competência que nos períodos interglaciais, podendo transportar frações mais grossas.

Em rampa arenosa costeira da Ilha de Santa Catarina (Balneário Praia Mole), estabelecida durante o último glacial (Paisani, 2004a), registra-se grãos de quartzo em frações granulométricas entre areia média e areia muito grossa que sofreram abrasão eólica (Paisani, 2005). A presença dessas frações no depósito da rampa está adequada às condições ambientais e climáticas da época de sua sedimentação, último glacial. Este artigo traz informações sobre o poder do vento durante o último glacial, a partir da análise do tamanho de grãos eólicos de rampa arenosa estabelecida na Ilha de Santa Catarina, contribuindo para a compreensão paleoclimática da região sul do Brasil.

ÁREA DE ESTUDO

ASPECTOS GERAIS

A Ilha de Santa Catarina se localiza no litoral da região sul do Brasil, em zona subtropical, na porção leste do Estado de Santa Catarina (Figura 1). O clima

é mesotérmico úmido sem estação seca definida e verão quente (Cfa – classificação de Köppen). A rampa arenosa estudada se encontra no Balneário Praia Mole, porção leste da ilha (Figura 1). A Praia Mole se limita

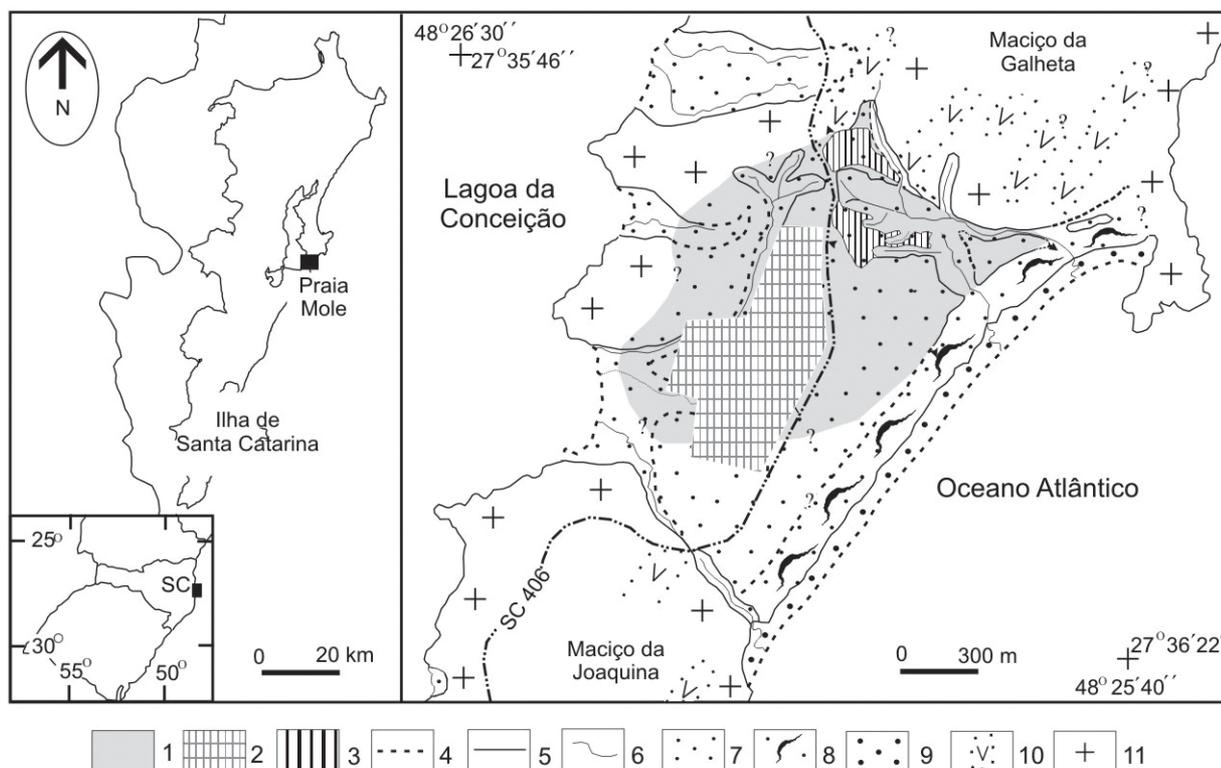


FIGURA 1. Localização e geologia do Balneário Praia Mole. 1: Rampa arenosa. 2: Área urbanizada. 3: Terraplanagem. 4: Contato suave. 5: Contato abrupto. 6: Drenagem. 7: Praia atual. 8: Anteduna atual. 9: Areia indiferenciada – Quaternário Superior. 10: Dique de diabásio – Mesozóico. 11: Granito – Proterozóico/Eopaleozóico (Paisani, 2004c).

a leste com o Oceano Atlântico, a oeste com a Lagoa da Conceição, ao norte com o Maciço da Galheta e ao sul com o Maciço da Joaquina. Os maciços são constituídos por granito, regionalmente definido como Granito Ilha, do Proterozóico Superior/Eo-Paleozóico, e diques de diabásio, do Mesozóico (Paisani, 2004a).

ESTRATIGRAFIA DA RAMPA ARENOSA

A rampa arenosa caracteriza-se como unidade geomorfológica derivada da acumulação de sedimentos arenosos diante do Maciço da Galheta (Figura 1). Sua

estratigrafia foi revelada utilizando-se juntos os critérios lito- e pedostratigráficos (Paisani, 2004a, b).

O depósito da rampa arenosa (camadas V a XVI) se estabeleceu na Praia Mole a partir da fase regressiva do penúltimo máximo transgressivo – estágio isotópico 5e (Paisani, 2004a). Caracteriza-se como seqüência de camadas eólicas (V, VI, VII, X, XIII, XV e XVI) e de dissipação (VIII, IX, XI, XII e XIV), com três níveis de paleossolos (Tabela 1). A seqüência de dissipação indica retrabalhamento dos sedimentos eólicos e sua mistura com sedimentos imaturos de encosta (Paisani, 2005).

TABELA 1. Coluna estratigráfica da rampa arenosa do Balneário Praia Mole (Paisani, 2004a).

Estágios isotópicos marinhos	Geocronologia (datações por luminescência)	Litoestratigrafia		Pedostratigrafia
		Camadas	Litofácies	
1	Atual	XIX	areia fina tecnogênica	
		EROSÃO	-	
	<6,6K0a	XVII e XVIII	areia média praial a areia média fina/fina praial-eólica	
		EROSÃO	-	
		-	-	
		XVI	areia fina eólica	
		EROSÃO	-	
-	-			
2	13,1 – 14,7Ka	XV	areia fina/ fina média eólica	
	XIV	areia fina/ fina média de dissipação com linha de grânulos/pedras		
3	22Ka ± 1,4	XIII	areia fina/ fina média eólica	
?	33,6Ka ± 2,2	XI e XII	areia fina/ fina média de dissipação	
5c		EROSÃO	-	1- Paleolatossolo
5d		-	-	
	109Ka ± 9	X	areia fina eólica	
5e/5d		VIII e IX	areia fina/ fina média de dissipação a de dissipação com linha de grânulos/pedras	
5e		V, VI, VII	areia fina média residual de deflação eólica	
	124Ka ± 9	II, III e IV	areia média a fina média praial	
		EROSÃO	-	
?		I	areia fina eólica	

MÉTODO

A idéia de que o tamanho de grãos eólicos da rampa arenosa poderia indicar o poder do vento durante o último máximo glacial surgiu com a análise morfológica e de textura superficial dos grãos de quartzo de suas camadas (Paisani, 2004a, 2005). Grãos foscos ocorrem em maior número entre as frações granulométricas areia média e grânulo, chegando a 100% nessas frações. Nas frações areia muito fina a areia fina são no máximo de 64%. Sabendo-se que o tamanho dos grãos de quartzo eólicos é indicativo da competência de transporte do vento que antecedeu a sedimentação

de determinada fração, grãos eólicos na fração areia muito grossa, indicam que antes da deposição o vento exibia velocidade suficiente para transportá-los, seja na forma de arraste ou saltação. Diante disso, a competência de transporte do vento fica registrada nas diferentes frações granulométricas de grãos de quartzo foscos, possibilitando definir um *índice poder de transporte do vento* ao longo do tempo.

Definiu-se um *índice poder de transporte do vento* (IPV) a partir da multiplicação do percentual total de grãos foscos (GrF %) pelo número de grãos

da população descrita (Ngr). O valor resultante foi dividido por 100 para manter-se sem unidade de medida, conforme a equação abaixo. A variação do índice é de 0 a 10, onde próximo de 10 indica a máxima ação do vento.

$$IPV = (GrF\% \times Ngr) / 100$$

Ressalta-se que as populações de grãos descritas nas frações grânulo, areia muito grossa e areia grossa variaram de 1 a 41 grãos (Paisani, 2004a, 2005). Se utilizados diretamente os percentuais totais de grãos foscos individualizados nessas populações, não se

chegaria a resultado satisfatório para inferir a competência do vento. Frações com apenas um grão totalizariam 100% de grãos foscos, conduzindo a falsa idéia de máxima competência do vento.

Com base na idéia de que a competência do vento tenha se manifestado diferentemente nos períodos glaciais e interglaciais, verificou-se a existência de correlação entre os valores do índice poder do vento, do registro estratigráfico, com as variações da paleotemperatura desse período para o Atlântico Sul apresentadas por Cortese & Abelmann (2002).

RESULTADOS

PODER DE TRANSPORTE DO VENTO

A presença de grãos de quartzo fosco em diferentes frações granulométricas em camadas da rampa arenosa é uma informação valiosa na

compreensão do poder de transporte do vento ao longo do tempo. Não se pode precisar a velocidade do vento, mas, como já mencionado, os tamanhos dos grãos de quartzo eólicos são indicativos da competência de

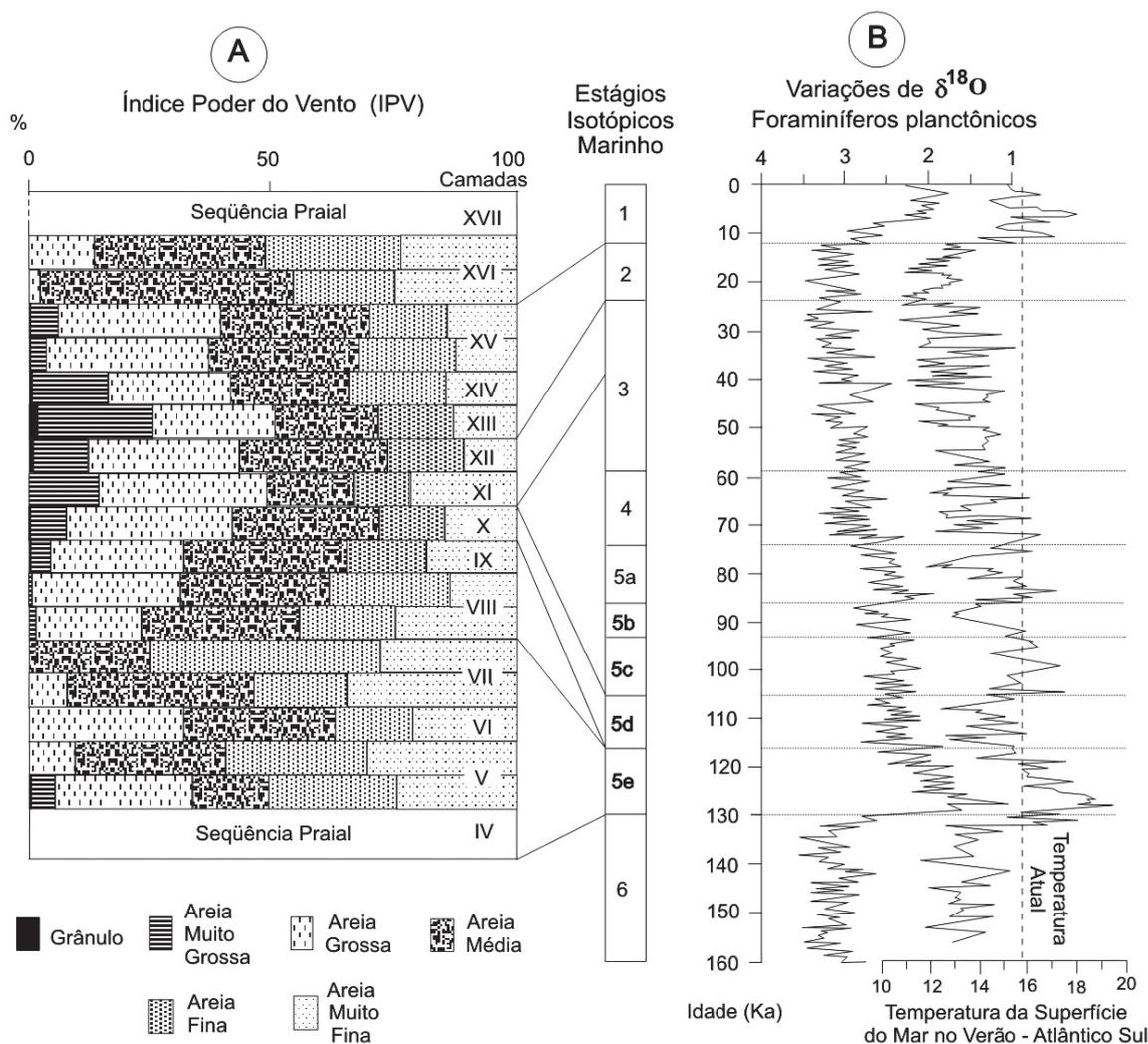


FIGURA 2. A: Índice poder de transporte do vento (IPV) aplicado aos grãos das camadas da área de estudo. B: Paleotemperatura do Atlântico Sul no último ciclo glacial-interglacial (adaptado de Cortese & Abelmann, 2002).

transporte do vento que antecedeu a sedimentação de determinada fração.

A Figura 2A apresenta os resultados do índice poder do vento, normalizado para 100%, por fração granulométrica para camadas eólicas e de dissipação da rampa arenosa. Analisando os valores para as frações maiores que areia média, aquelas que apresentam os maiores percentuais de grãos foscos, percebem-se quatro tendências nos índices: (1) redução das frações maiores que areia média da camada V para a camada VII; (2) aumento progressivo de grãos foscos nas frações areia muito grossa a grânulo entre as camadas VIII e XIII; (3) decréscimo dessas frações em direção à camada XV; (4) ausência de grânulos foscos e areia muito grossa fosca na camada XVI. Essa última característica se estende para a camada XVIII, fácies de transição entre praias e eólica da última fase transgressiva-regressiva (Paisani, 2004a). As diferentes tendências expressam a competência do vento ao longo do tempo, destacando-se o aumento do poder do vento entre a deposição das camadas VIII e XIII, seguida pela paulatina redução.

SINAL PALEOCLIMÁTICO DO ÍNDICE PODER DO VENTO

A Figura 2B exibe a paleotemperatura durante o último ciclo glacial-interglacial. Comparando-a com as tendências da competência do vento (Figura 2A), expressas no índice poder de transporte do vento, constata-se redução do poder deste durante os dois últimos interglaciais referidos como estágios isotópicos 5e e 1, sobretudo pela ausência de grãos foscos de areia muito grossa e grânulos entre as camadas V-VII e XVI-XVII. Igualmente observa-se aumento progressivo de grãos foscos nas frações areia muito grossa e grânulo do início para o máximo do último glacial,

estágios isotópicos 5d a 2, como mostra a tendência entre as camadas IX a XIII.

A tendência de aumento nos valores do índice poder do vento em frações grossas, como areia muito grossa e grânulo, exibe correlação estatística com o declínio da paleotemperatura do Atlântico Sul em direção ao máximo do último glacial (Figura 3). Esse resultado sugere que a área de estudo esteve submetida a ventos com competência para transportar frações até areia grossa durante os períodos interglaciais (quentes), enquanto no último glacial (período frio) a competência do vento aumentou e o transporte se deu para areia muito grossa e grânulos, com intensificação no máximo do último glacial.

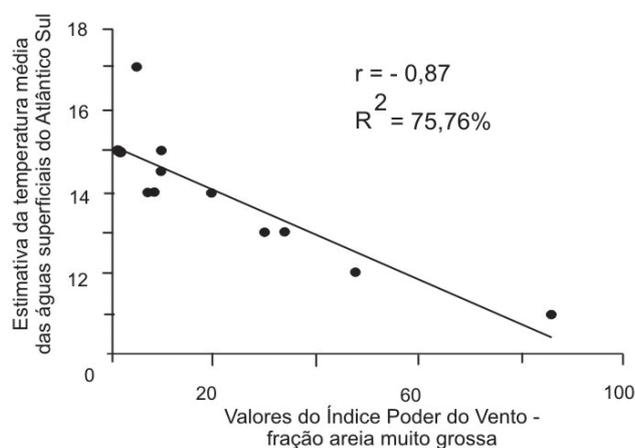


FIGURA 3. Diagrama de correlação entre o índice poder do vento para fração areia muito grossa e a paleotemperatura do Atlântico Sul.

DISCUSSÃO

A rampa arenosa da área de estudo tem face de barlavento voltada para a direção sul, mostrando que o vento desse quadrante foi responsável pela sua sedimentação eólica. O vento do quadrante sul também é responsável pela maioria das acumulações eólicas da faixa leste da Ilha de Santa Catarina (Bigarella, 1970-1971). Poder-se-ia pensar que esse é o quadrante de vento predominante; no entanto, o vento do quadrante norte prevalece para toda a Ilha de Santa Catarina (Bigarella, 1970-1971).

O fato de o vento predominante não ser responsável pela maioria das acumulações eólicas se deve à diferença de velocidade desses ventos. Enquanto o

vento do quadrante norte sopra com velocidade média de $\sim 3,65 \text{ m.s}^{-1}$, o vento do quadrante sul exibe velocidade média de 9 a 17 m.s^{-1} (Freyesleben, 1979; Bigarella, 2000). A maior velocidade do vento do quadrante sul tem relação direta com a brusca entrada de frentes frias na costa sul brasileira (Bigarella, 2000). Elas são impulsionadas pelo avanço da massa polar do Anticiclone Polar, sobretudo no inverno quando há deslocamento para norte do Anticiclone do Atlântico Sul, responsável pelo vento do quadrante de nordeste (Freyesleben, 1979).

Iriondo (1999) sugere que durante o máximo do último glacial houve deslocamento do Anticiclone do Atlântico Sul em direção norte deixando maior área

para atuação do Anticiclone Polar. Situação similar tem sido apontada em relação ao Anticiclone Africano, situado no Oceano Índico (Lancaster, 1981). A maior área de atuação do Anticiclone Polar pode ter favorecido a entrada de massas polares de modo mais constante. Durante o máximo do último glacial, talvez o vento do quadrante sul tenha predominado e

possivelmente se fortalecido, diante do deslocamento para norte do Anticiclone do Atlântico Sul, como sugerem Behling & Negrelle (2001). Isso explicaria a ocorrência de grãos eólicos de areia grossa nas camadas da rampa arenosa depositadas durante o último glacial, sobretudo aquelas com grãos eólicos depositados no máximo do último glacial.

CONCLUSÕES

Os grãos eólicos da rampa arenosa documentam que durante o último ciclo glacial-interglacial o vento do quadrante sul foi responsável pelo transporte de areia para a rampa arenosa. Constata-se que no último glacial o vento exibiu maior poder de transporte de grãos que no atual interglacial. Como as frentes frias

são responsáveis pelos ventos do quadrante sul na área de estudo e toda a costa sul-brasileira, o maior poder de transporte do vento sugere um fortalecimento das frentes polares durante esse período. Esse fenômeno pode ter resultado de um deslocamento do Anticiclone Polar mais para o norte, como sugerido por outros autores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHLBRANDT, T.S. Textural parameters of eolian deposits. In: McKee, E.D. (Ed.) **A study of global sand seas**. Geological Survey Professional Paper, n. 1052, p. 21-51, 1979.
2. BEHLING, H. & NEGRELLE, R.R.B. Tropical rain forest and climate dynamics of the Atlantic lowland, Southern Brazil, during the Late Quaternary. **Quaternary Research**, n. 56, p. 383-389, 2001.
3. BIGARELLA, J.J. Wind pattern deduced from dune morphology and internal structures. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 28/29, p. 73-114, 1970/1971.
4. BIGARELLA, J.J. Structures developed by dissipation of dune and beach ridge deposits. **Catena**, n. 1, p. 107-152, 1974.
5. BIGARELLA, J.J. Parabolic dune behavior under effective storm wind conditions. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 1, p. 1-26, 2000.
6. CORTESE, G. & ABELMANN, A. Radiolarian-based paleotemperatures during the last 160 Kyr at ODP Site 1089 (Southern Ocean, Atlantic Sector). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, n. 182, p. 259-286, 2002.
7. FREYESLEBEN, L.M.C. **Aspectos essenciais do ritmo climático de Florianópolis**. Florianópolis, 1979. 49 p. Tese (Professor Adjunto) – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina.
8. GOUDI, A. *Physiche Geografie, Eine Einführung*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 402 p., 1995.
9. HERRMANN, M.L.P. **Aspectos ambientais da porção central da Ilha de Santa Catarina**. Florianópolis, 1989. 228 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina.
10. IRIONDO, M.H. Last glacial maximum and hypsithermal in the Southern Hemisphere. **Quaternary International**, n. 62, p. 11-19, 1999.
11. LANCASTER, N. Paleoenvironmental implications of fixed dune systems in Southern Africa. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 33, p. 327-346, 1981.
12. LANCASTER, N. & TCHAKERIAN, V.P. Geomorphology and sediments of sand ramps in the Mojave Desert. **Geomorphology**, v. 17, p. 151-165, 1996.
13. PAISANI, J.C. **Estratigrafia, significado paleoambiental e evolução de rampa arenosa/dissipação no Balneário Praia Mole – Ilha de Santa Catarina**. Florianópolis, 2004. 255 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina. (a).
14. PAISANI, J.C. Utilização de diagrafas granulométricas no estabelecimento da lito e pedostratigrafia de rampa arenosa costeira – o caso Praia Mole (Ilha de Santa Catarina). Londrina: Universidade Estadual de Londrina, **Geografia**, v. 13, p. 139-151, 2004. (b).
15. PAISANI, J.C. Gênese de lamelas (“estrutura de dissipação”) associadas à evolução de paleoargissolos em rampa arenosa, Praia Mole (Ilha de Santa Catarina) / SC, Brasil: subsídios para uma interpretação paleogeomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 5, n. 1, p. 29-42, 2004. (c).
16. PAISANI, J.C. Análise morfométrica e de textura superficial de grãos utilizadas na identificação de litofácies eólica e de dissipação em rampa arenosa/dissipação: o caso da Praia Mole (Ilha de Santa Catarina). **Revista Geosul**, v. 39, n. 20, p. 105-118, 2005.
17. PYE, K. Late Quaternary development of coastal parabolic megadune complexes in northeastern Australia. In: PYE, K. & LANCASTER, N. (Eds.), **Aeolian Sediments**. International Association of Sedimentologists, Special Publication, n.16, p. 23-44, 1993.
18. REA, R.K. & LEINEN, M. Asian aridity and the zonal westerlies: Late Pleistocene and Holocene record of eolian deposition the Northwest Pacific Ocean. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 66, p. 1-8, 1988.
19. SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J.M.; AZEVEDO, A.E.G. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na

- sedimentação costeira. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 15, p. 273-286, 1985.
20. THOMAS, D.S.G.; BATEMAN, M.D.; MEHRSHAHI, D.; O'HARA, S.L. Development and environmental significance of an eolian sand ramp of last-glacial age, Central Iran. **Quaternary Research**, v. 48, p. 155-161, 1997.
21. TOMAZELLI, L.J. **Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais holocênicos do nordeste da província costeira do Rio Grande do Sul – com ênfase no sistema eólico**. Porto Alegre, 1990. 270 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
22. VILLWOCK, L.J.; TOMAZELLI, E.L.; LOSS, E.A.; DEHNHARDT, E.A.; HORN FILHO, N.O.; BACHI, F.A.; DEHNHARDT, B.A. Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. In: RABASSA, J. (Ed.) **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, Balkema-Rotterdam, p. 79-97, 1985.
23. XIAO, J.; PORTER, S.C.; AN, Z.; KUMAI, H.; YOSHIRAWA, S. Grain size of quartz as an indicator of winter monsoon strength on the Loess Plateau of Central China during the last 130,000 Yr. **Quaternary Research**, v. 43, p. 22-29, 1995.

Manuscrito Recebido em: 19 de maio de 2007
Revisado e Aceito em: 30 de julho de 2007

