

TRANSPORTE EÓLICO NAS PRAIAS DE PONTAL DO MACEIÓ, MUNICÍPIO DE FORTIM, E CANOA QUEBRADA, MUNICÍPIO DE ARACATI, ESTADO DO CEARÁ, BRASIL

Aeolian transport on *Canoa Quebrada* beach, Aracati county, and
Pontal do Maceió beach, Fortim County, Ceará State, Brazil

Mônica Pimenta de Novaes Castelo Branco¹, Loreci Gislaíne de Oliveira Lehugeur²,
George Satander Sá Freire³

RESUMO

A região costeira do Estado de Ceará tem sido caracterizada, principalmente, em relação aos agentes dinâmicos atuantes nos ecossistemas, através da realização de inúmeras pesquisas de natureza geológica/sedimentar. O sistema eólico nas praias de Canoa Quebrada e Pontal do Maceió, Município de Aracati (Ceará), foi zoneado segundo três gerações de dunas no período de janeiro de 1998 a janeiro de 1999. As mais antigas, posicionadas em áreas pouco afastadas da atual linha de costa, apresentam superfícies arrasadas cobertas por solos espessos capazes de desenvolver uma vegetação arbustiva. O segundo tipo de dunas encontra-se fixado por vegetação rasteira, onde as formas longitudinais predominam. As dunas móveis, localizadas na região da berma, caracterizam as de terceira geração, cuja migração constitui uma importante ferramenta nos processos de transporte e dinâmica costeira. A quantificação do transporte eólico, realizado através da utilização das armadilhas de armazenamento de areia nos corpos dunares, revelou que o transporte sedimentar real mediano para a base das dunas foi da ordem de 0,49 kg/m/h e, para o topo, de 1,26 kg/m/h.

Palavras-chaves: transporte eólico, campos dunares.

ABSTRACT

The coastal region of Ceará State, Northeast Brazil, has been characterized mainly in relation to its dynamic agents working on the ecosystems, by means a number of research works from the viewpoints of their geology and sedimentology. The aeolian system in beaches of the Aracati county was mapped according to three generations of dunes in the period from January, 1998 through January, 1999. The older ones, located in areas far from the coastline, present levelled-off surfaces covered by thick soils capable of developing a shrubby vegetation. The second type of dunes remains fixed by a low vegetation where the lengthwise formations predominate. The mobile dunes, placed at the berm zone, stand for the third generation whose migration makes up a relevant tool in the transport and coastal dynamics processes. The actual mean aeolian transport, whose measurement was carried out through trapping devices for sand storage on dune fields, showed values of 0.49 kg/m/h for the dune base and 1.26 kg/m/h for the dune top.

Key words: aeolian transport, dune fields.

¹ Pesquisador do Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Av. da Abolição, 3207, Fortaleza, CE 60165-081, Brasil, e Doutoranda do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. E-mail: mbranco@unb.br

² Professor Adjunto do Departamento de Geologia e Pesquisadora do Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Fortaleza, Brasil.

³ Professor Adjunto do Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Fortaleza, Brasil.

INTRODUÇÃO

A faixa costeira do Estado do Ceará caracteriza-se pela formação de extensos campos dunares, onde a ação dos efeitos eólicos assume importante papel na modelagem e migração acelerada desses depósitos arenosos.

Devido ao elevado grau de atuação desse processo impactante junto às cidades litorâneas e aos processos naturais relacionados à dinâmica costeira de erosão ou assoreamento da linha de costa, a comunidade científica local incrementou a realização de pesquisas voltadas ao melhor conhecimento do transporte de sedimentos, visando à compreensão da migração das dunas na região costeira do Estado do Ceará.

O presente estudo visa caracterizar a ação dos processos eólicos responsáveis pela migração dos campos de dunas situados na região do Baixo Jaguaribe.

ÁREA DE ESTUDO

A área objeto de estudo encontra-se inserida no trecho leste do litoral cearense, localizada às margens do Rio Jaguaribe, geologicamente correspondendo à borda oeste da Bacia do Potiguar, estando caracterizada pelo domínio de uma sedimentação plio-plestocênica e recente (Figura 1).

A coluna sedimentar aflorante na área compreende desde os sedimentos datados do Cretáceo Superior, que correspondem ao estágio *drift* da Bacia Potiguar, denominados de Formação Tibau, até sedimentos inconsolidados recentes.

Os depósitos areno-argilosos da Formação Tibau afloram, principalmente, em formas de falésias vivas, muitas vezes silicificadas, mapeados nos promontórios mais resistentes do litoral, cuja sua melhor representatividade encontra-se na praia do Pontal de Maceió e nas falésias esculpidas na margem esquerda do Rio Jaguaribe, próximo à cidade de Fortim.

Os sedimentos terciários da Formação Barreiras estão associados aos afloramentos da Formação Tibau, caracterizados por pacotes de sedimentos arenosos com relevante contribuição de partículas argilosas, depositados sob um sistema deposicional de leque aluvial moldam os tabuleiros litorâneos pertencentes ao geossistema Glacis Pré-litorâneos.

Durante o Quaternário, etapa final da formação da planície litorânea, foi estabelecida a dinâmica costeira e, conseqüentemente, também construídas as planícies fluviais, flúvio-marinhas e flúvio-lacustres. Esse conjunto de feições está constituído por areias quartzosas, por vezes, areno-argilosa ou puramente argilosa. Na planície litorânea a modelagem das feições dunares ocupa uma grande área.

Dentre os conceitos abordados pela geologia estrutural, a região apresenta ao longo da coluna estratigráfica eventos tectônicos mais antigos, gerados du-

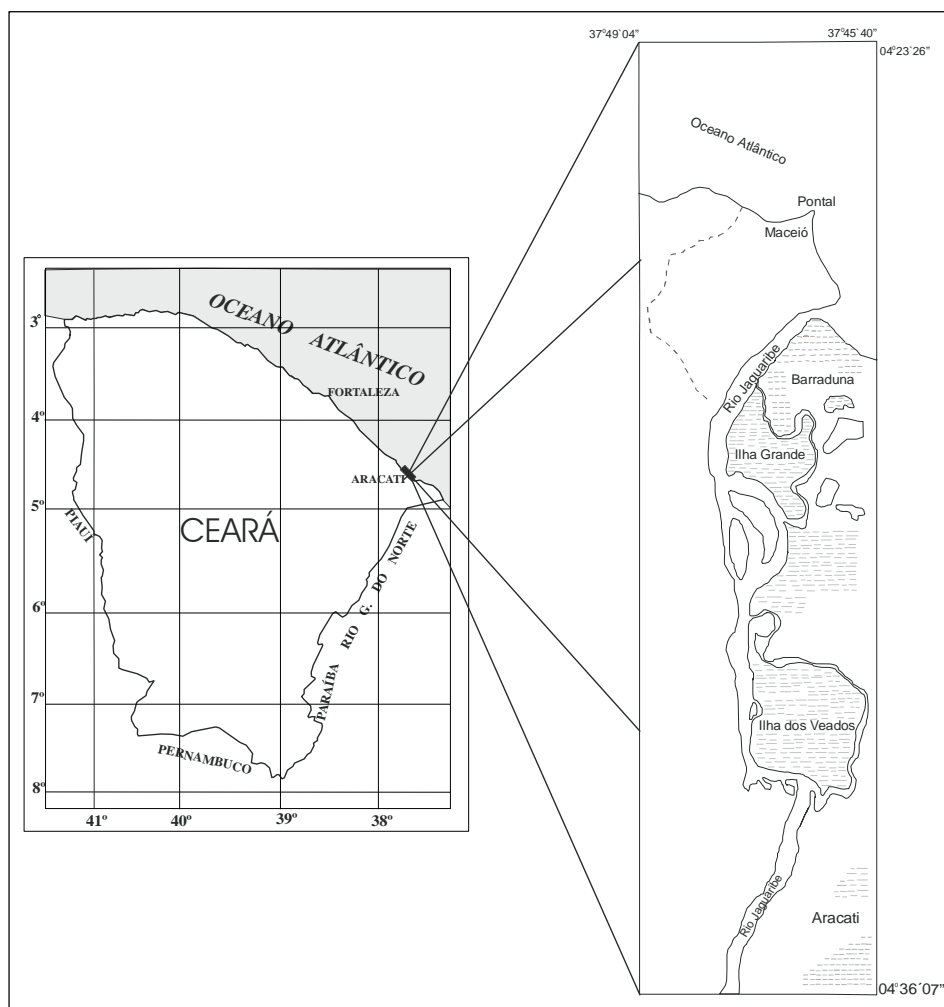


Figura 1 – Mapa de localização da área.

rante a implantação da depressão da Baía Potiguar (*onshore* e *offshore*). Esses eventos foram nitidamente observados ao longo do traçado do curso do Rio Jaguaribe, que sofre desvios gerados por estruturas tectônicas.

METODOLOGIA

A presente pesquisa teve como base os princípios metodológicos propostos por Bagnold (1941), Fryberger (1979) e Sarre (1988).

Durante o período de janeiro de 1998 a janeiro de 1999 foram realizadas coletas de dados de natureza sedimentológica e aerodinâmica, em 12 perfis localizados na zona costeira dos municípios de Fortim e Aracati, envolvendo a caracterização das variações das frequências percentuais (direção e velocidade) das correntes eólicas, assim como sua capacidade de transportar os sedimentos (Figura 2).

As direções e velocidades das correntes eólicas foram obtidas por meio de afixação de anemômetros, pontual e totalizador, posicionados a uma altura de 1 m, registrando as oscilações das correntes de ar durante o intervalo de 24 h. Simultaneamente a essa atividade foram posicionadas, nos pontos de estudo dos ventos, armadilhas apropriadas para o armazenamento dos sedimentos transportados, segundo a metodologia proposta por Sarre (*op. cit.*), permitindo, dessa maneira, a quantificação do aporte sedimentar pela ação contínua das correntes de ar (Figura 3).

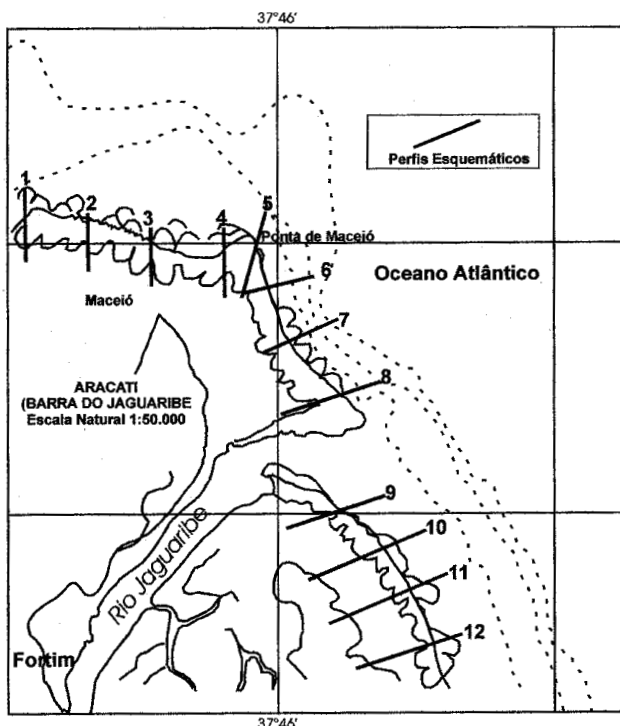


Figura 2 – Localização dos perfis esquemáticos traçados na área.

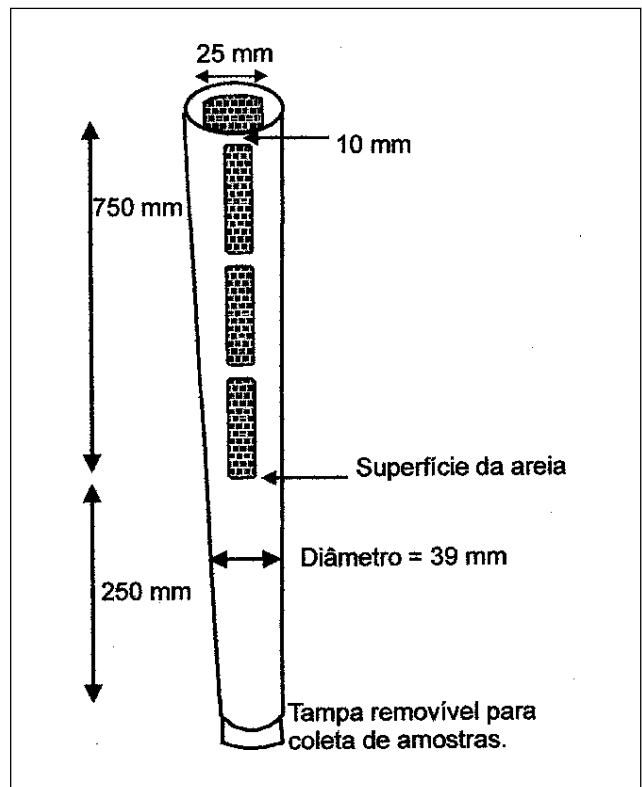


Figura 3 – Armadilhas para coleta de sedimentos transportados pelo vento (segundo Sarre, 1988).

A quantificação do transporte eólico foi calculada de acordo com os princípios definidos por Bagnold (*op. cit.*), que relacionam o volume de sedimentos transportado pelos ventos (Q) ao cubo da velocidade de cisalhamento do vento (U), através da seguinte equação:

$$Q = C \times L \times T \left(\frac{d}{D} \right)^{0.5} (\gamma/g) \cdot U^3$$

onde, Q = transporte total em m^3 /ano; C = constante com valores de 1,5 para areia bem selecionada, 1,8 para areia moderadamente selecionada e 2,8 para areia pobremente selecionada; L = comprimento da praia; T = duração do vento (s/ano); d = diâmetro do grão d_{50} (mm); D = diâmetro padrão (0,25 mm); γ = densidade do ar ($1,217/10^3$ g/cm³); g = gravidade ($9,81$ m/s²); U = velocidade de cisalhamento = $U - U_0 / 6,13 \log (Z/Z_0)$, sendo U a velocidade do vento medida a uma altura Z (m), $U_0 = 32,18 d$ (km/hora) e $Z_0 = 10 d$ (mm) = altura das ondulações formadas.

A velocidade de cisalhamento, que depende exclusivamente da rugosidade do terreno, foi determinada por intermédio da interpretação dos dados obtidos referentes às oscilações da velocidade das correntes de ar com a altura, levando-se em consideração o gradiente de velocidade das correntes eólicas proposto por Lettau (1975, *apud* Fryberger, 1979).

As porções de sedimentos aprisionados nas armadilhas, durante as estações de 24 h de coleta, foram pesadas e analisadas na Divisão de Oceanografia Abiótica do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR/UFC), segundo as rotinas laboratoriais utilizadas nas análises granulométricas de peneiramento mecânico. Sua finalidade principal consistiu no conhecimento da capacidade efetiva do transporte eólico, para se verificar uma possível relação entre a velocidade do vento e o diâmetro do grão transportado.

SISTEMA DEPOSICIONAL EÓLICO

A caracterização dos elementos ambientais envolvidos no processo eólico foi obtida em duas etapas distintas. A primeira, através de um levantamento bibliográfico sobre o regime pluviométrico da zona costeira, caracterizando, portanto, as condições climáticas da área. A segunda teve seu embasamento nos trabalhos realizados no campo, com a fixação dos aparelhos que permitiram conhecer as principais características das correntes eólicas, assim como quantificar o volume sedimentar transportado nas superfícies dos corpos dunares. Nessa etapa foram também descritas as feições eólicas, levando-se em consideração suas classificações dentre as diversas gerações de dunas.

Clima regional

O clima da região Nordeste do Brasil é controlado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que corresponde a uma região de convergência de correntes de ventos alísios provenientes dos hemisférios norte e sul, verificados ao longo do Equador térmico da terra.

Os períodos chuvosos com chuvas intensas e relativamente regulares são determinados quando a ZCIT atinge seu posicionamento máximo no hemisfério sul, ocorrendo, principalmente, nos meses de março e abril; quando posicionada no hemisfério norte, configura o início do período da estiagem.

O regime pluviométrico da área em estudo tem uma característica fortemente estacional, com chuvas no período de janeiro a junho (picos em março e abril) e período de estiagem de julho a dezembro.

Regime dos ventos

O regime dos ventos segue o mesmo padrão do pluviométrico, apresentando velocidades baixas na estação de alta pluviosidade e velocidades mais altas na estação de baixa pluviosidade.

Os anemômetros locados na área em estudo registraram correntes eólicas de direção preferencial leste, com variações para nordeste. As velocidades médias ocuparam o intervalo de 4 a 7 m/s, classificando os ventos da região de moderados a forte.

Feições eólicas

O sistema eólico encontra-se representado por extensos campos de dunas correspondendo a três gerações.

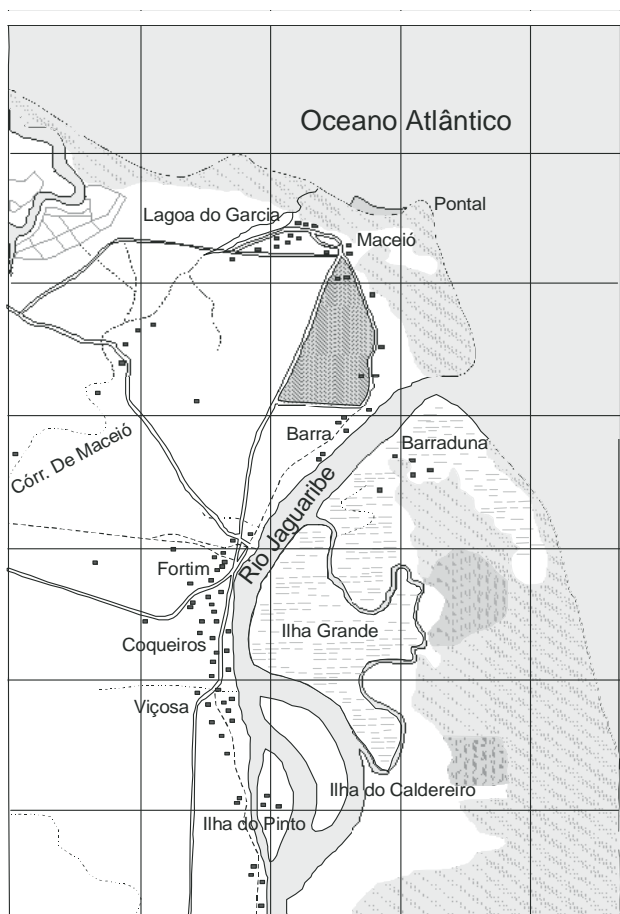
Os corpos dunares englobados na classificação de primeira geração compreendem aos depósitos eólicos localizados na porção mais interna da faixa costeira, capeando a superfície aplainada dos tabuleiros litorâneos (Figura 4).

Nas proximidades do povoado conhecido por Canto, margem esquerda do Rio Jaguaribe, essas dunas foram mapeadas na forma de cordões com direção SE/NW, paralelos à atual linha de costa, estando representados morfologicamente por superfícies arrasadas, em cotas altimétricas de 28 m, portadoras de horizontes característicos de solos capazes de desenvolver vegetação do tipo arbóreo. Litologicamente são formadas por areias médias, de pobremente a moderadamente selecionadas, com cores típicas variando de avermelhado a amarelado. O percentual de sedimentos finos, com diâmetro inferior a 0,062 mm, variou de 1,5 a 3,8%.

As dunas de segunda geração intercalam-se em alguns pontos com as de terceira geração, sendo caracterizadas por corpos alongados direcionados paralelamente à linha de costa, com a presença de uma cobertura vegetal pouco espessa, representada por vegetação arbustiva de pequeno porte e rasteira (Figura 4). As amostras coletadas a sotavento, topo e barlavento das dunas fixas foram caracterizadas por sedimentos do tamanho areia média, moderadamente selecionados e assimetria positiva.

O grupo de dunas que migra ao longo da região costeira, por ação contínua dos ventos, foi classificado como dunas de terceira geração ou dunas atuais. Esse grupo encontra-se distribuído na área mapeada em duas formas morfológicas distintas: a primeira caracteriza-se por corpos arenosos, com altura máxima de 3 m, modeladas em formas de barcanas, que deslocam-se para o continente em direção NE/SW; a segunda corresponde a corpos alongados constituindo dunas longitudinais (Figura 4).

A fonte sedimentar para a formação desses cordões dunares encontra-se nas zonas de estirâncio das praias posicionadas a leste, como Canoa Quebrada e Majorlândia, onde a velocidade dos ventos, durante o período de verão, atinge valores de 7,8 m/s.



Fonte: Folha SB. 24-X-A-III (Parajuru)

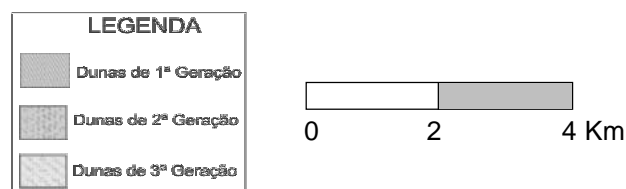


Figura 4 – Localização das dunas de primeira, segunda e terceira gerações.

As dunas de terceira geração estão formadas por areias finas, constituídas principalmente por quartzo, com percentuais representativos de minerais pesados. Os sedimentos apresentam-se bem classificados, com assimetria positiva e predomínio de grãos arredondados. Cortes realizados nas superfícies de sotavento, topo e barlavento dessas dunas mostraram a presença de estratificações cruzadas planares.

Na margem esquerda do Rio Jaguaribe, nas proximidades do lugarejo Maceió, as dunas móveis assumem o comportamento de corpos alongados que migram em direção SE/NW, repassando a Ponta de Maceió e atuando como fonte supridora de sedimentos para a porção do litoral localizada a oeste. Esse processo sedimentar representa um importante equilíbrio

natural para a linha de costa, que sofre constantes processos de erosão marinha, sendo abastecida, desse modo, por uma carga sedimentar equivalente a erodida.

Transporte eólico

As dunas móveis, em decorrência da representatividade na área e da constância no processo de migração, são consideradas como feições importantes na dinâmica costeira da região. Dessa maneira, trabalhos específicos foram desenvolvidos na tentativa de caracterizar os fenômenos envolvidos no transporte sedimentar.

As armadilhas para coleta de sedimentos transportados foram posicionadas nas zonas de barlavento, sotavento e topo de 12 corpos dunares.

A interpretação dos resultados levantados pela utilização da metodologia desenvolvida por Sarre (1988) - Tabela I, juntamente com observações colhidas em campo, relacionadas às condições essenciais para que haja transporte sedimentar, tais como topografia do terreno, teor de umidade do solo e presença de correntes eólicas, revela um transporte sedimentar real mediano de 0,49 kg/m/h, para as bases das dunas, e 1,26 kg/m/h para o topo dos corpos arenosos.

A média obtida pelos dados das equações que simulam o transporte sedimentar teórico no sistema eólico foi de 37,99 kg/m/h, valor bastante elevado quando se compara com a média de 0,877 kg/m/h estimada para o transporte real das dunas da região.

Tabela I – Quantificação do transporte eólico das dunas de terceira geração.

Número da amostra		Peso da amostra retido nas armadilhas sedimentares (g)	Quantificação real do transporte eólico (kg/m/h)	Quantificação teórica do transporte eólico (kg/m/h)
Perfil 12	AM 01 (base)	36,60	0,152	44,60
	AM 02 (topo)	800,00	3,333	47,14
Perfil 11	AM 03 (base)	52,93	0,220	26,97
	AM 04 (topo)	221,00	0,920	94,40
Perfil 10	AM 05 (base)	42,80	0,178	22,42
	AM 06 (topo)	205,00	0,854	105,89
Perfil 9	AM 07 (base)	30,18	0,125	50,40
	AM 08 (topo)	402,00	1,675	93,24
Perfil 8	AM 09 (base)	104,34	0,434	75,00
	AM 10 (topo)	437,00	1,820	78,84
Perfil 7	AM 11 (base)	124,76	0,519	24,64
	AM 12 (topo)	132,20	0,550	25,80
Perfil 6	AM 13 (base)	156,34	0,651	13,18
	AM 14 (topo)	206,53	0,860	22,88
Perfil 5	AM 15 (base)	218,00	0,908	16,01
	AM 16 (topo)	319,27	1,330	19,91
Perfil 4	AM 17 (base)	107,98	0,449	18,12
	AM 18 (topo)	485,23	2,021	24,64
Perfil 3	AM 19 (base)	196,64	0,819	15,99
	AM 20 (topo)	207,67	0,865	17,70
Perfil 2	AM 21 (base)	100,56	0,419	13,28
	AM 22 (topo)	290,66	1,211	22,87
Perfil 1	AM 23 (base)	78,95	0,328	15,58
	AM 24 (topo)	98,32	0,409	22,45

Esse fato pode ser explicado levando-se em conta a desconsideração que as equações matemáticas utilizadas na quantificação teórica do transporte eólico têm em relação às condições essenciais envolvidas na dinâmica eólica.

A Figura 5 apresenta o gráfico que contém os dados do transporte sedimentar real obtidos na base e topo dos doze corpos dunares, em que as curvas foram seccionadas em trechos caracterizados por decréscimo ou acréscimo dos valores para uma melhor interpretação dos resultados.

A curva do topo foi subdividida em cinco segmentos, dentre os quais três (1, 3 e 5) caracterizam-se por queda de valores e dois (2 e 4) por elevação contínua nos valores de sedimentos transportados. O primeiro segmento envolve os perfis 12, 11 e 10, onde a diminuição do transporte eólico acontece em virtude da substituição do estrâncio, essencialmente arenoso, por linhas rochosas, tornando esta reduzida e pobre em sedimentos inconsolidados.

Os perfis de número 9 e 8 (segmento 2), traçados na desembocadura do Rio Jaguaribe, assumem transporte sedimentar elevado por estarem localizados em zona de progradação da linha de costa, que se caracteriza como área de intenso fornecimento de sedimentos para a zona costeira.

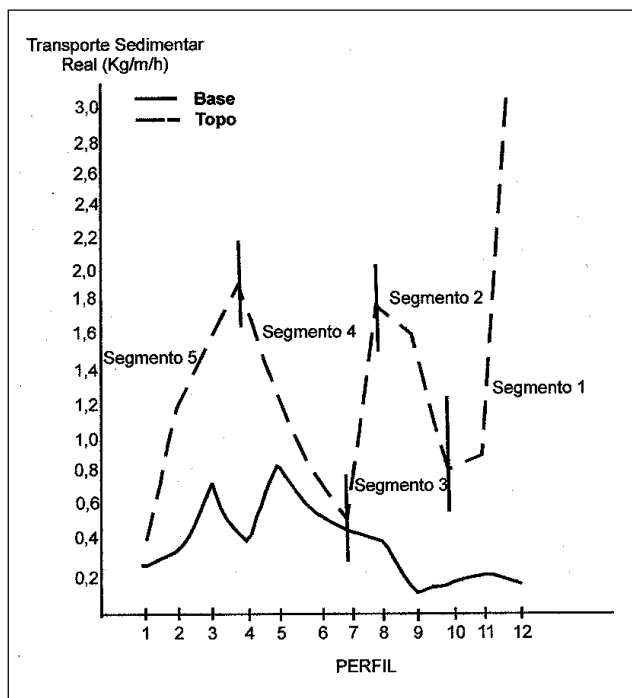


Figura 5 – Gráfico de valores de sedimentos transportados na base e topo das dunas de terceira geração.

O segmento 3 compreende às amostras coletadas no perfil 7, localizado na retaguarda do sistema lagunar, onde o elevado teor de umidade do solo fixa os sedimentos e reduz a ação dos ventos.

O segmento 4 (perfis 6, 5 e 4) caracteriza-se como ascendente de valores do transporte sedimentar no topo das dunas, gerado pela inflexão da linha de costa para aproximadamente E/W e presença do promontório Pontal de Maceió que, juntos, alteram as correntes longitudinais e as correntes eólicas. Dessa maneira, o transporte sedimentar ocorre por livre acesso, cruzando a ponta rochosa e abastecendo o litoral adjacente.

O litoral localizado defronte e a oeste do lugarejo Maceió abrange os perfis de número 3, 2 e 1 (segmento 5), onde a existência de edificações torna o substrato arenoso fixo e amortece a ação dos ventos sobre os sedimentos, caracterizando, portanto, o trecho da curva como decrescente.

A interpretação da curva de sedimentos transportados na base das dunas segue o mesmo raciocínio aplicado à curva do topo. Os dois pontos mínimos de transporte eólico verificados nos perfis de número 9 e 4 estão associados aos posicionamentos dos estrâncios em regiões protegidas pelos cordões rochosos mapeados no litoral localizado a leste dos mesmos, o que reduz a fonte sedimentar e as correntes longitudinais responsáveis pelo transporte litorâneo.

CONCLUSÕES

- 1- Os estudos realizados na área de atuação da pesquisa permitiram caracterizar o sistema deposicional eólico através de três gerações de dunas.
- 2 - As dunas mais antigas, localizadas sobre os sedimentos terciários da Formação Barreiras, representam as dunas de primeira geração, caracterizadas por uma superfície arrasada, com presença de solos bem desenvolvidos e vegetação arbórea.
- 3- A segunda geração de dunas localizada no geossistema Planície Litorânea está representada por corpos alongados, direcionados paralelamente à linha de costa, fixado por uma cobertura vegetal rasteira.
- 4 - As dunas que migram ao longo da região costeira, por ação contínua dos ventos, representam as de terceira geração. Os estudos realizados nestes cordões dunares as caracterizam como corpos essencialmente arenosos, com altura máxima de 3 m,

modeladas em formas de barcanas e corpos alongados, que avançam em direção ao continente no sentido NE/SW.

- 5 - O cálculo do transporte sedimentar real atuante nos corpos dunares de terceira geração revelou um valor médio de 0,49 kg/m/h (base das dunas) e 1,26 kg/m/h (topo das dunas), o que caracterizou o topo das dunas como área de maior transporte sedimentar.
- 6 - A variação dos valores do transporte sedimentar está diretamente relacionado com o tamanho do grão, teor de umidade e ação antrópica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bagnold, R.A. *The physics of blown sand and desert dunes*. Methuen & Co. Ltd., 265 p., London, 1941
- Fryberger, S.G. Dune forms and wind regime, p. 138-169, in McKee, E.D. (ed.), *Study of global sand seas*. Geological survey professional paper, 1979.
- Sarre, R.D. Evaluation of aeolian sand transport equations using intertidal zone measurements, Sauton Sands, England. *Sedimentology*, Amsterdam, v. 35, n. 4, p. 71-679, 1988.