

Monitoramento do avanço da frente de dunas na região do Peró, Cabo Frio, Rio de Janeiro

Francisco de Assis Dourado
Antonio Soares da Silva

Departamento de Recursos Minerais do Rio de Janeiro – DRM-RJ
Rua Marechal Deodoro, 351 - 24030-060 - Niterói - RJ
fdourado@drm.rj.gov.br
asoares@drm.rj.gov.br

Abstract. This paper is related to the eolic dunes monitoring at Peró Beach, in Cabo Frio, Rio de Janeiro State, Brazil, during 39 years (over 1965 to 2004) using geoprocessing tools. Dune front evolution was evaluated considering vegetation cover, human occupation and wind velocity and direction through satellite image and aerial photographic interpretation.

Palavras-chave: dune, geoprocessing, aerial photographs, dunas, geoprocessamento, fotografia aérea

1. Introdução

Dunas presentes no litoral brasileiro freqüentemente se movem causando diversos transtornos à população. Determinar a velocidade de migração de dunas pode auxiliar no processo de ocupação do território, pois o monitoramento indica quais as direções principais de deslocamento das dunas. Neste trabalho serão apresentados os resultados do monitoramento do avanço de dunas eólicas na Praia do Peró, Cabo Frio, no estado do Rio de Janeiro. A pesquisa foi desenvolvida utilizando-se ferramentas de geoprocessamento e sistema de posicionamento global. O intervalo de tempo do monitoramento foi de 39 (trinta e nove) anos, correspondendo aos anos de 1965 a 2004. O DRM-RJ, na qualidade de Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro, desenvolveu o trabalho, depois que moradores da região tiveram bens soterrados por esse processo de movimentação das dunas (**Figura 1**).

A área de estudo localiza-se na Região dos Lagos, região turística do estado Rio de Janeiro, onde a principal indústria foi a extração de sal (**Figura 2**). As salineiras, atualmente em decadência, deixaram grandes áreas abandonadas e agora são alvo da expansão urbana.

Segundo Oliveira (2004), os fatores condicionantes do processo de vulnerabilidade dunar se associam tanto a fatores de caráter antrópico quanto relacionados à dinâmica costeira atuante no local, sendo exemplos: a presença e o estado de danificação da vegetação, a velocidade e direção dos ventos, a variação sazonal das chuvas, o trânsito de pessoas e veículos, edificações sobre a linha de costa e na zona de acumulação praial, entre outros.

A região das Dunas do Peró é um cordão arenoso, com largura máxima de 1.300 metros e um arco de praia com 4.800 metros. A área apresenta uma faixa de aproximadamente 600 metros entre a “crista” de praia e a área de dunas com vegetação rasteira. Após essa faixa encontra-se uma faixa de areia exposta com notória movimentação eólica.

2. Material Utilizado e Procedimentos

Neste trabalho foram utilizadas fotografias aéreas pancromáticas obtidas em seis épocas diferentes, no período compreendido entre os de 1965 e 2000 (**Tabela 1**). Para a fotointerpretação

foi utilizado um estereoscópio de espelho. Apenas 1 fotografia de cada vôo foi utilizada para a digitalização, em *scanner* de mesa com a resolução de 600 DPI (pontos por polegada). No último ano do monitoramento foi utilizada uma imagem de satélite IKONOS de setembro de 2001 com resolução espacial de um metro. A avaliação referente ao ano de 2004 foi realizada com o auxílio de GPS, e apenas em um trecho onde foi possível realizar um caminhamento que permitiu determinar o limite da duna.



Figura 1 – Soterramento da rua e do clube

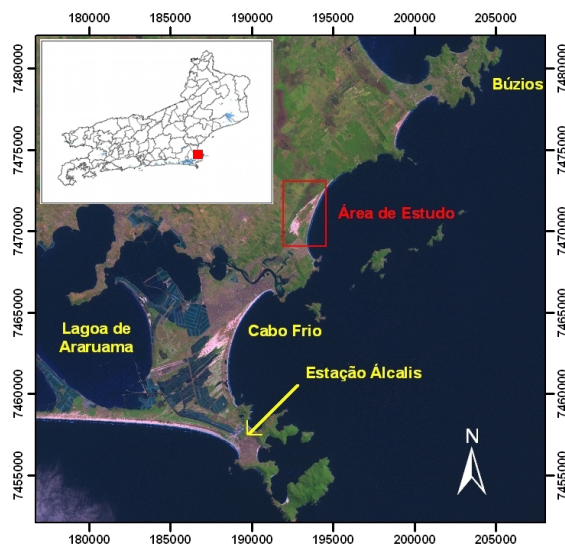


Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo

Para melhor avaliação do deslocamento das dunas, a área de estudo foram selecionadas cinco setores, que podem ser observados na **Figura 3**. No setor 4 foi realizado monitoramento até 2004. O equipamento utilizado para o caminhamento foi um GPS (Global Position System), da marca Garmin e modelo GPS 76.

Solicitante	Data	Número	Escala
AMPLA	JAN/2000	NI	1:8000
SPU	NOV/1995	20/004	1:12500
SERLA	AGO/1988	FX03/165	1:30000
DRM	JUL/1976	363/50073	1:20000
DRM	JUN/1970	478/930	1:20000
USAF	JUL/1965	357/45820	1:60000

Tabela 1 – Vôos utilizados no estudo

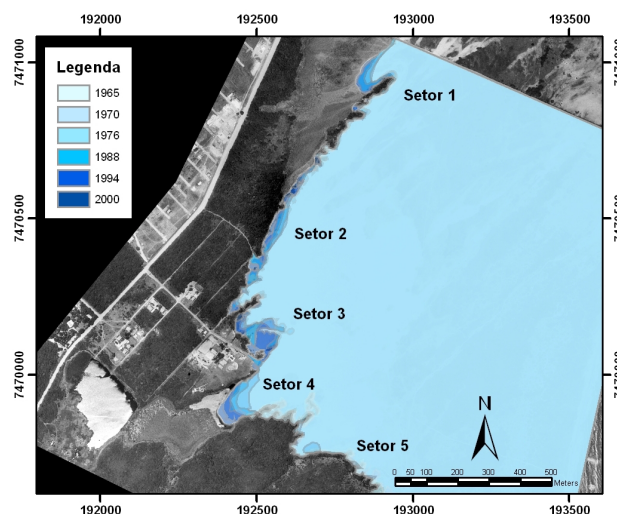


Figura 3 – Setores da área de estudo.

Para o georreferenciamento das fotografias aéreas, foram coletados os posicionamentos em campo de nove pontos em locais de fácil identificação nas fotografias (**Figura 4**). Em cada ponto foram coletadas cerca de 600 amostras de posicionamento, a partir dos quais foi retirada automaticamente a média pelo próprio aparelho GPS.

Uma vez identificados os pontos nas fotografias aéreas, os mesmos foram utilizados para o georreferenciamento através do programa PCI. O algoritmo de interpolação utilizado foi um polinômio de primeira ordem, o erro total RMS foi menor que 0,5 metros.

Terminado o georreferenciamento das fotografias aéreas, o passo seguinte foi a delimitação da área das dunas. Para isso, para cada fotografia nas respectivas datas, se construiu um arquivo “*shape file*”, um polígono que representasse a área de cobertura das dunas para os respectivos anos das fotografias (**Figura 5**).

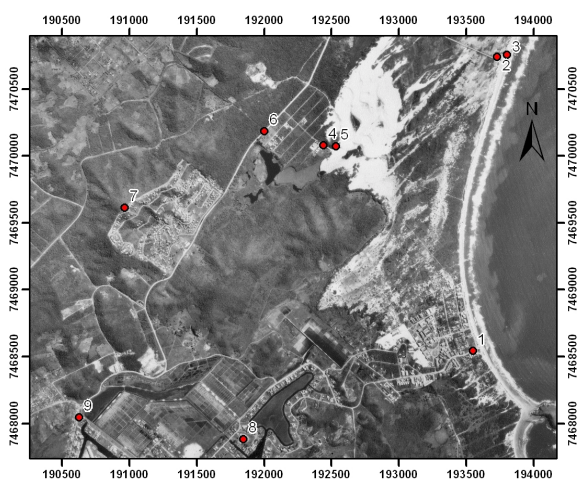


Figura 4 – Localização dos pontos de amarração

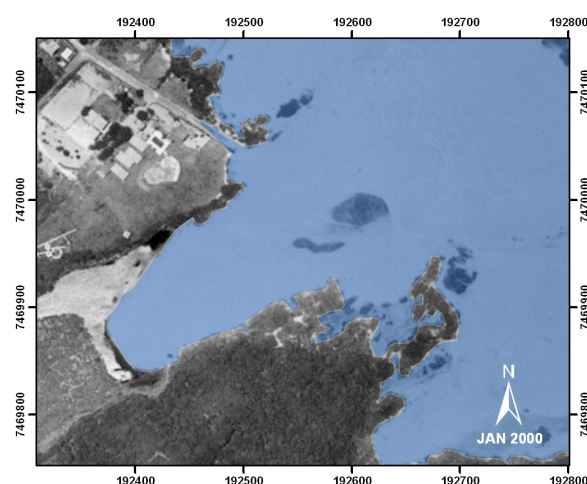


Figura 5 – Limites da frente de duna em Janeiro de 2000

3. População

A Região dos Lagos é uma das regiões mais bonitas do estado do Rio de Janeiro. O aporte de pessoas que buscam esta região nos feriados e férias de verão é muito grande e muito superior ao total da população residente nos municípios que fazem parte da região.

Cabo Frio em 1940 possuía apenas 8.816 habitantes e no censo demográfico de 2000 apresentava uma população total de 126.894 pessoas, assim ocorreu um incremento de 14 vezes. O interesse maior pela região ocorreu a partir de 1960, quando a população atingiu a marca de 16.000 pessoas. Entre 1960 e 1970 ocorreu um aumento muito grande e a população de Cabo Frio praticamente dobrou, saindo de 16.000 pessoas em 1960 para 29.000 pessoas em 1970. Este crescimento continua acelerado até a década de 80 quando a população atinge 50.000. A queda no crescimento da população verificado em 1991, que atinge 76.311 pessoas, deve-se à emancipação do distrito de Arraial do Cabo, porém, no ano de 2000 volta a ocorrer um grande incremento na população do município, que atinge o total de 126.894 habitantes.

4. Clima

Os dados climáticos, baseados na estação de Arraial do Cabo, revelam que os valores de precipitação são extremamente baixos quando comparados com as demais áreas do litoral do estado do Rio de Janeiro, em geral, extremamente úmido. A média anual é de 770,9 mm/ano, podendo o clima ser classificado como semi-árido. A taxa de evaporação nesta estação é de 928,4 mm/ano, gerando, conseqüentemente, um déficit hídrico no solo.

Dois fatores são os responsáveis pela fraca precipitação neste trecho do litoral fluminense. O primeiro está associado à maior distância da Serra do Mar em relação ao litoral. Enquanto que na região de Mangaratiba, Angra dos Reis e Parati, a Serra do Mar está junto do oceano, na Região dos Lagos, a mesma está muito interiorizada (cerca de 60 km da costa), o que diminui os efeitos das chuvas orográficas. O segundo fator está associado ao fenômeno da ressurgência na costa de Arraial do Cabo e Cabo Frio. A subida até a superfície da corrente fria diminui a evaporação da água diminuindo também a precipitação.

Não existe grande variação nas médias mensais de chuva. As maiores precipitações ocorrem entre outubro e abril, atingindo um mínimo no bimestre julho e agosto. Ao se analisar o comportamento mensal das chuvas e da evaporação, observa-se que apenas nos meses de outubro, novembro e dezembro há excedente hídrico no solo. No restante do ano há déficit hídrico que atinge o máximo em agosto. Porém nos meses de fevereiro, julho e setembro o déficit hídrico também é muito elevado.

5. Regime de ventos na região

O estado do Rio de Janeiro está localizado na zona de influência do centro de alta-pressão Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul. A região apresenta acentuada ocorrência de ventos de direção Leste/Nordeste. O regime de ventos no Estado é sazonal; apresentam-se mais intensos de setembro a novembro e mais brandos de abril a junho. Segundo o Atlas Eólico do Estado, a 50 metros de altura, na Região dos Lagos, a velocidade média é por volta de 7,0 m/s (Amarante, 2003).

Segundo o relatório do plano de manejo da APA Pau Brasil (utilizando as informações da estação meteorológica Cabo Frio), em média 65% dos ventos no período de 1970 a 1987 vêm do quadrante N-NE-E, sendo que 40% do total dos ventos são provenientes da direção NE. A média anual dos ventos é de 5,6 m/s, podendo atingir 10 m/s. Nos meses de agosto a novembro, a média mensal supera 6,0 m/s, atingindo o máximo de 6,7 m/s em setembro.

6. Resultados e Discussões

Em 1965, ano do início do monitoramento, existe pouca ocupação humana e apenas algumas trilhas são observadas próximo à área de concentração do trabalho. No entorno da área observam-se as primeiras ocupações. A ocupação urbana da praia do Perú, tem início ao sul desta, com a abertura e terraplanagem das primeiras ruas. A área do loteamento Aquadunas é inabitada.

Em 1970, não foi verificado um grande aumento na ocupação. A área permanece inalterada quando comparada ao ano de 1965, apesar do aumento expressivo da população do município de Cabo Frio. A ocupação nesta época está restrita ao centro, principalmente na praia do Forte.

A partir de 1976, o processo de ocupação da praia do Perú é acelerado. Novas unidades residenciais são construídas nos loteamentos visíveis na foto aérea de 1970, porém, a ocupação de novas áreas ainda é incipiente.

Em 1988, novas ruas do loteamento inicial são abertas e as áreas do entorno são loteadas. Um trecho de dunas entre a área de estudo e o núcleo central da praia do Peró começa a ser ocupada. A cobertura vegetal é retirada para dar lugar às construções. Ao norte é construída uma estrada sobre as dunas para dar acesso à praia aos moradores dos condomínios/loteamentos da cercania. A população do município de Cabo Frio em 1991, portanto, três anos após, é de 76.000 habitantes, mostrando que o processo de urbanização definiu a praia do Peró como uma área de expansão.

Em 1995, ou seja, pouco menos de 10 anos, todo o loteamento inicial da praia do Peró está totalmente consolidado e o processo de urbanização é direcionado para o trecho norte do Peró. São abertos diversos caminhos e estradas que cortam a área de dunas e são ampliados os condomínios no entorno da APA Pau Brasil. Em 1996 apurou que a população residente em Cabo Frio ultrapassou 101.000 pessoas.

Finalmente, nos anos de 2000 e 2001, observa-se que a ocupação do entorno da área está consolidada. O processo de urbanização do núcleo inicial da praia do Peró se assemelha a uma área urbana estabilizada. Os condomínios próximos à APA Pau Brasil ampliam o número de residências. A população municipal, em 2000 é de cerca de 126.000 pessoas.

Para se determinar com mais precisão os locais onde foram detectados os maiores deslocamentos das dunas, a área foi dividida em 5 setores. Em cada um deles foi determinado, através de medições nas fotografias aéreas, o deslocamento total entre os anos de 1965 e 2001 e o deslocamento entre um ano de monitoramento e o outro subsequente. A **Figura 3** mostra a localização dos setores na área de estudo.

6.1. Setor 1

Houve um grande avanço frontal, principalmente entre os anos de 1970 e 1988. Não há nenhuma associação com a presença humana no local (**Figura 6**). O deslocamento está associado, então, a um processo natural. Entre 1988 e 2000, há uma redução na velocidade de deslocamento da duna. Na **Tabelas 2 e 3** são apresentados os deslocamentos médios da duna nos diferentes setores. Entre 1970 e 1976, portanto em apenas seis anos, ocorreu um deslocamento de 12 m. Entre 1976 e 1988, o deslocamento foi de 27 m. A interpretação das fotografias aéreas de 1970 indicou neste trecho a presença de vegetação de menor porte, o que facilitou o deslocamento da frente de duna. Após 1995, a presença de obstáculos passa a retardar a velocidade de deslocamento da duna. O avanço das dunas neste setor ocorre também lateralmente e não apenas no sentido da direção principal dos ventos, o que comprova que a vegetação rasteira e de menor porte (herbácea e arbustiva) não oferecia impedimento à movimentação da frente de duna, pelo menos entre os anos de 1965 e 1988. O existência de uma estrada na dunas, na fotografia aérea de 1988, não está, neste setor, contribuindo com grande quantidade de material para a duna.

6.2. Setor 2

O avanço nesse trecho foi mais homogêneo com média anual de 1,2 m/ano (**Figura 7**). Porém, neste caso, o avanço se deu lateralmente, ou seja, perpendicular à direção preferencial dos ventos (nordeste). A presença de vegetação de maior porte, detectada em todas as fotos aéreas, é a responsável pela obstrução do avanço das dunas no sentido NE, deslocando os sedimentos para a borda. Assim como no **setor 1**, no período entre 1970 e 1976 há um grande deslocamento, menor apenas que no período entre 1995 a 2000. O aumento da ocupação humana neste trecho da área, a

implantação de condomínios, os arruamentos e o aumento do tráfego de pessoas sobre as dunas estariam contribuindo para o deslocamento dos sedimentos (**Tabelas 2 e 3**).

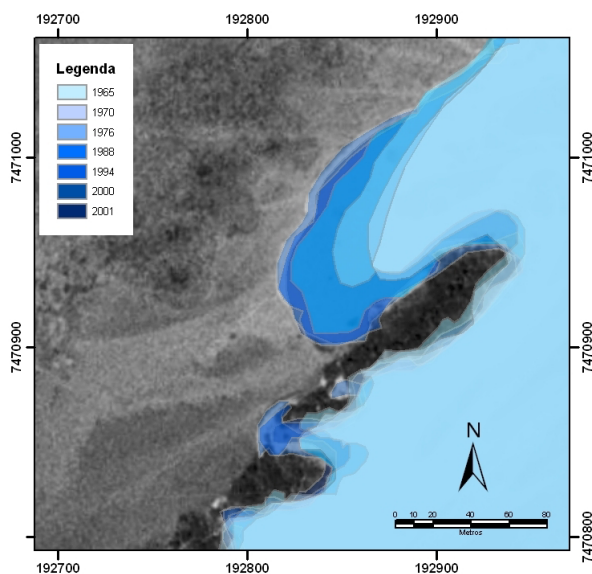


Figura 6 - Setor 1

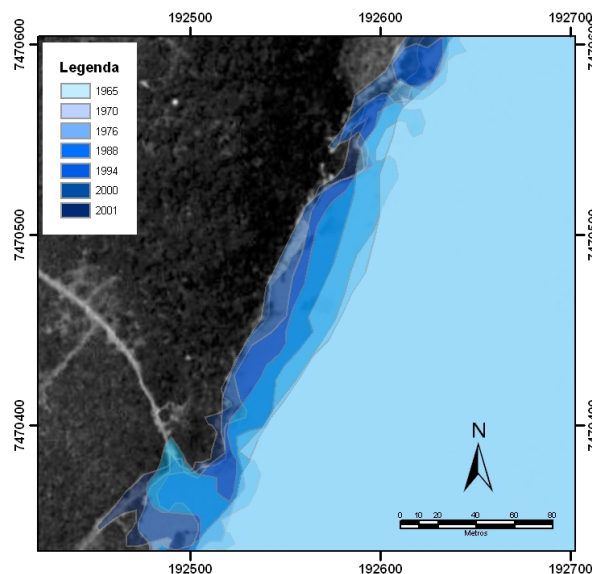


Figura 7 - Setor 2

6.3. Setor 3

Neste setor está localizado o loteamento onde houve o soterramento de ruas e parte de uma edificação (**Figura 8**). A análise temporal demonstrou que houve uma aceleração da movimentação da frente da duna no último período. Aqui foram feitas medições até o ano de 2004, pois o trecho é de fácil acesso e foi possível a localização das dunas por GPS (**Figura 1**). Na observação da **Figura 8**, nota-se que existe uma grande variação no avanço das dunas nos diversos intervalos de tempo considerados. Neste trecho, fica claro que a abertura de vias de circulação interna do condomínio Aquadunas contribuiu para o avanço da areia, pois todos os obstáculos foram removidos. A vegetação existente em um quarteirão sofreu um processo, por nós denominado, de “fagocitose”. Este processo, pode ser percebido nas análises das fotografias aéreas dos períodos de 1978 a 1988, que mostram que, as ruas foram abertas na mesma direção dos ventos (NE). Assim, ruas paralelas abriram uma grande pista para os sedimentos. O avanço das dunas neste setor está claramente relacionado à ocupação humana. As **Tabelas 2 e 3** mostram os valores do deslocamento das dunas. O maior avanço foi encontrado entre os anos de 2000 e 2001 e está totalmente relacionado ao soterramento de uma pequena área com vegetação, que oferecia resistência ao deslocamento da duna.

6.4. Setor 4

A velocidade média de avanço da frente de duna nesse setor é de 3,5 m/ano (**Figura 9**). Porém, apresenta grande variação quando são analisados os diferentes períodos de monitoramento. As maiores velocidades de deslocamento ocorrem justamente entre 1965 e 1970, quando a duna percorreu 45 m em 5 anos (9 m/ano), e entre 2000 e 2001, quando a duna percorreu 12 m em

apenas um ano. Neste trecho também há uma grande influência da ocupação humana. O local serve de acesso à praia e os moradores dos condomínios trafegam livremente ao longo ano. Uma outra razão para o maior deslocamento da duna neste local deve-se à ausência de obstáculos à sedimentos. Na frente da duna há um corpo hídrico (lagoa eutrofizada) por onde o vento se desloca com grande facilidade. Há, ainda, o fator topográfico, pois a presença de dois morros canaliza o vento neste trecho mais rebaixado e praticamente sem rugosidade (**Tabelas 2 e 3**).

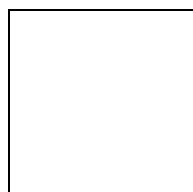


Figura 8 - Setor 3

6.5. Setor 5

Este setor está a nordeste do morro da APA Pau Brasil (**Figura 10**). No local não foi observado avanço das dunas, devido à barreira natural criada pela vegetação e pela elevação do morro. É possível observar sucessivos recuos e avanços da frente da duna, porém pequenos, possivelmente ocasionada pelo avanço e recuo, respectivamente, da vegetação (**Tabelas 2 e 3**).

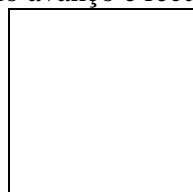


Figura 9 - Setor 4

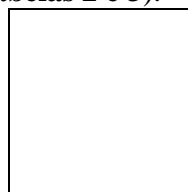


Figura 10 - Setor 5

7. Conclusões

O processo de deslocamento das dunas é natural, porém, em alguns trechos, mais acelerado nos últimos anos devido à ação antrópica. A ocorrência de meses com elevado déficit hídrico no solo conjugada com meses onde o vento apresenta maior velocidade aumentam a possibilidade de deslocamento dos sedimentos.

Para minimizar os efeitos da ocupação antrópica, sugerimos:

- 1 - O isolamento total e irrestrito da área de contribuição de sedimento, pois isso reduzirá a quantidade de sedimentos disponibilizados pelo pisoteamento, além de ajudar a preservar a vegetação fixadora de dunas; e
- 2 - Revegetação nas áreas contribuintes de sedimentos.

Tabela 2 – Avanço (m) da frente de duna e velocidade média (m/ano) de deslocamento no intervalo entre duas fotografias aéreas.

Período (Anos decorridos)	Setor 1		Setor 2		Setor 3		Setor 4	
	Avç	Vel.	Avç	Vel.	Avç	Vel.	Avç	Vel.
2001-2004 (3)	-	-	-	-	9	3,0	-	-
2000-2001 (1)	0	0	0	0	14	14	12	12
1995-2000 (5)	0	11	2,2	0	0	0	20	4,0
1988-1995 (7)	5	7	1,0	0,7	28	4,0	21	3,0
1976-1988 (12)	27	10	0,8	2,3	71	5,9	12	1,0
1970-1976 (6)	18	12	2,0	3,0	21	3,5	15	2,5
1965-1970 (5)	0	3	0,6	0	4	0,8	45	9,0

Avç. = avanço; Vel. = velocidade

Tabela 3 – Avanço (m) da frente de duna e velocidade média (m/ano) de deslocamento desde 1965 até o ano da fotografia aérea.

Período (Anos decorridos)	Setor 1		Setor 2		Setor 3		Setor 4	
	Avç	Vel.	Avç	Vel.	Avç	Vel.	Avç	Vel.
1965-2004 (39)	-	-	-	-	147	3,8	-	-
1965-2001 (36)	50	43	1,2	1,4	138	3,8	125	3,5
1965-2000 (35)	50	43	1,2	1,4	138	3,9	113	3,2
1965-1995 (30)	50	32	1,1	1,7	124	4,1	93	3,1
1965-1988 (23)	45	25	1,1	2,0	96	4,2	72	3,1
1965-1976 (11)	18	15	1,4	1,6	25	2,3	60	5,5
1965-1970 (5)	0	3	0,6	0	4	0,8	45	9,0

Avç. = avanço; Vel. = velocidade

Agradecimentos

À AMPLA, ao Serviço Geológico do Brasil - CPRM e ao Consórcio RIOLAGOS, pelas fotografias aéreas; ao prof. Wagner Castro (Museu Nacional – UFRJ) pelas discussões ao longo da realização deste; ao Conselho gestor da APA Pau-Brasil e à FEEMA, pela imagem IKONOS.

7. Referências

- Amarante, O.A.C.; Silva, F.J.L.; Rios Filho, L.G. **Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2002. 73 p.
- Oliveira, A.C.A.; Barreto, E.A.T.; Melo & Souza, R. Análise da vulnerabilidade biofísica em ambientes dunares costeiros de Sergipe. In: Congresso Brasileiro de Geógrafos, 6., 2004, Goiânia. **Anais...** Goiânia AGB Nacional. Disponível em <http://www.cibergeo.org/agbnacional/vicbg-2004/eixo2/e2_093.htm>. Acesso em: 09 nov. 2004.