
MONITORAMENTO DA TENDENCIA DE DESLOCAMENTO DO CAMPO DE DUNAS DE RIO DO FOGO – RN UTILIZANDO LIDAR AEROTRANSPORTÁVEL

MARCIA CRISTINA DE SOUZA MATOS CARNEIRO

MARIO OSCAR SOUZA LIMA

LUCILENE ANTUNES CORREIA MARQUES DE SÁ
TEREZA CRISTINA DE ARAÚJO

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - UE/PE

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Centro de Tecnologia e Geociências - CTG

Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE

Departamento de Oceanografia

carmarciatese@gmail.com

geoid@geoid.com.br, lacms@ufpe.br e tcma@ufpe.br

RESUMO - As dunas costeiras se destacam por atuar na proteção às transgressões do nível do mar e constituem ecossistemas de grande importância e vulnerabilidade às ações naturais e antrópicas. Nas últimas décadas, houve grande avanço tecnológico, tendo-se desenvolvido o mapeamento a laser aerotransportado – *Light Detection and Ranging* (LIDAR) – sistema que captura de dados tridimensionais da superfície da Terra por meio de procedimentos automatizados, que aliam precisão e acurácia com redução no tempo da captura e processamento dos dados. O objetivo da pesquisa foi estudar a tendência de deslocamento do campo de dunas de Rio do Fogo, empregando a tecnologia LIDAR aerotransportável. Para tanto, realizaram-se dois levantamentos aéreos com a tecnologia LIDAR, sendo o primeiro em dezembro de 2001; o outro voo em novembro de 2004. A análise do mapa na escala 1:10.000 e perfis transversal e longitudinal do campo de dunas produzidos mostrou que as dunas tiveram uma migração horizontal no período de dois anos e onze meses, de 21,51 até 67,8 metros, e uma taxa de deslocamento anual variando de 7,36m/ ano a 23,22m/ano, enquanto que a taxa de deslocamento horizontal mensal variou num intervalo de 1,25m/ mês a 1,83m/mês, no sentido predominante do vento SE-NW.

Palavras chave: Dunas, LIDAR, deslocamento.

ABSTRACT - The coastal dunes are noted for work in the protection of sea level transgressions and ecosystems are of great importance and vulnerability to natural and anthropogenic actions. In recent decades, significant advances in technology, having developed airborne laser mapping - Light Detection and Ranging (LIDAR) - system that captures data from the three-dimensional surface of the Earth by means of automated procedures that combine precision and accuracy with reduction in the time of capture and data processing. The goal is to study the trend of displacement of the dune field of Rio do Fogo, using the airborne LIDAR. To this end, there were two aerial surveys with the LIDAR technology, the first in December 2001, the other flight in November 2004. The analysis of the map in 1:10,000 scale and the transverse and longitudinal profiles of the dune field produced showed that the dunes had a horizontal migration within two years and eleven months, from 21.51 to 67.8 meters, and a rate Annual displacement ranging from 7.36 m/year to 23.22m/year, while the monthly rate of horizontal displacement varied in the range of 1.25m/month to 1.83 m/month in the prevailing wind direction SE-NW.

Keywords: Dunes, LIDAR, displacement

1. INTRODUÇÃO

A costa do estado do Rio Grande do Norte perfaz uma extensão de 470km de litoral, constituída predominantemente por praias arenosas (72%) e falésias ativas (26%) segundo MUEHE (2006). A linha de praia atual é quase contínua, sendo interrompida apenas pela presença de rios. As planícies costeiras são de origem quaternária,

formando uma unidade geológico-geomorfológica bastante complexa, por serem ambientes de interação de fenômenos continentais e marinhos.

As dunas costeiras se destacam pela importância de atuar na transição entre o ambiente marinho e o meio terrestre, servindo de proteção às transgressões do nível do mar e evitando a contaminação dos aquíferos continentais pela água salgada, a salinização do solo, a destruição de infraestruturas humanas e a abrasão marítima nas falésias. Constata-se, assim, a relevância de preservar os campos de dunas (CARTER, 1988).

Nas últimas décadas, em todos os ramos da ciência, houve um grande avanço tecnológico, e o mapeamento a laser – *Light Detection and Ranging* (LIDAR) – destaca-se como uma nova tecnologia de captura de dados da superfície física da Terra. Os dados levantados pelo sistema LIDAR permite a automatização de procedimento de mapeamento, aliada à alta precisão, acurácia, densidade de pontos tridimensionais, a alta velocidade de execução, vôo abaixo das nuvens, arquivos separados por planos de informação – *layers* (solo, vegetação, edificações) entre outros.

O campo de dunas localiza-se entre as praias de Rio do Fogo e Zumbi, onde as variações morfodinâmicas refletem mudanças na morfologia tridimensional da praia que interferem no comportamento do fluxo aerodinâmico sobre o pós-praia e no potencial de deriva eólica (SHORT e HESP, 1982; DAVIDSON-ARNOTT e LAW, 1982). No rio Punaú, o aporte de sedimento pode ser mais intensificado sazonalmente nos estações mais chuvosas de maior precipitação pluviométrica; esse Rio, como dito, contribui, ainda, para o fornecimento de sedimentos do campo de dunas, assim como os sedimentos que vão ser distribuídos ao longo da faixa costeira.

A pesquisa visou gerar dados científicos para subsidiar ações preventivas do turismo predatório e controlar as pressões de ocupação e mau uso do seu entorno. O monitoramento de áreas com essa característica ambiental tem importância fundamental para controlar as ações antrópicas no meio ambiente local e no seu entorno, atendendo, desse modo, às necessidades da população direcionadas ao desenvolvimento sustentável de áreas de grande fragilidade ambiental.

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DA PESQUISA

O litoral do município de Rio do Fogo perfaz uma extensão de 16km. A área de estudo selecionada localiza-se no município de Rio do Fogo, conforme ilustra a Figura 2 (área em cinza). Começa na foz do rio Punaú no oceano Atlântico, desce pelo Rio até a ponte da BR-101; segue pela RN-021 até a praia de Rio do Fogo, seguindo chega-se à foz do rio Punaú, marco inicial da descrição desse perímetro, uma área de aproximadamente 35,77km² enquanto o campo de dunas móveis tem uma área de 5,31km². A escolha desse recorte ambiental se deu em razão de ser área de influência do campo de dunas de Rio do Fogo. O litoral se forma por **praia reflectiva**, segundo Muehe (2006, p. 168) e **praias dissipativas** – praias próximas à desembocadura do rio Punaú – (Figura 1), constituído de: (i) praias arenosas com dunas frontais (A) conhecida como praia do Zumbi; (ii) praia com falésias vivas cobertas por campo de dunas parabólicas, barcanas e barcanoides (B) denominada praia de Rio do Fogo; (iii) e na plataforma interna, segundo Santos *et al.* (2007), há presença de recifes de arenito (*beachrocks*) que são paralelos à linha de costa e alteram o padrão de arrebentação das ondas.

Geomorfologicamente, a zona costeira é formada por: planícies, tabuleiros costeiros, e os campos de dunas são os elementos de relevo predominantes em toda a costa; com planícies fluviais localizadas nas desembocaduras dos riachos e rios, onde se destaca o rio Punaú conforme ilustra fotografias na Figura 1 (C).

Na praia do Zumbi, as variações morfodinâmicas refletem mudanças na topografia da praia tridimensional que interferem no comportamento do fluxo aerodinâmico sobre o pós-praia e no potencial de deriva eólica (Short e Hesp, 1982; Davidson-Arnott e Law, 1990). Essa praia apresenta maior mobilidade de sedimentos e morfologia que favorecem velocidades de fluxo laminar sobre o pós-praia e o processo de saltação dos grãos de areia média e fina para o interior do continente.

No rio Punaú, o aporte de areias fluviais pode ser mais intensificado sazonalmente nos períodos climáticos de maior precipitação pluviométrica, e esse rio contribui também para o fornecimento de sedimentos do campo de dunas, assim como os sedimentos que vão ser distribuídos ao longo da faixa costeira do município de Rio do Fogo. Outro fator de contribuição do aporte de sedimentos é a deriva litoral, principalmente na direção sul para norte (Diniz e Dominguez, 1999). Na Figura 2, apresentam-se fotografias de 2004 do campo de dunas de Rio do Fogo.

O volume de sedimentos transportados para o campo de dunas, desde a praia até as dunas primárias, rege-se pela orientação da linha de costa em relação ao vento predominante de SE e pelos fatores que influenciam o limiar de movimento dos sedimentos e a taxa de transporte das areias, tais como o tamanho das partículas sedimentares, conteúdo de umidade, crostas salinas, forma da praia entre outras (Sherman e Hotta, 1990).



Figura 1 – Fotografias do litoral do município de Rio do Fogo que apresentam: (A) falésias, cordões litorâneos estreitos e presença de turfa; (B) praias arenosas com presença de dunas frontais e (C) desembocadura do rio Punauí.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da pesquisa, realizaram-se dois levantamentos aéreos com a tecnologia LIDAR. O primeiro em dezembro de 2001; o outro vôo em novembro de 2004, utilizando-se uma aeronave Cessna C180. O levantamento LIDAR aerotransportável e o pós-processamento dos dados necessita de uma base GPS no local do mapeamento, representando assim a primeira etapa do levantamento.

A segunda etapa do planejamento foi analisar e pesquisar os marcos geodésicos cadastrados pelo IBGE na área ou no entorno da região a ser mapeada, utilizando para amarração e transporte de coordenadas do levantamento de campo. Neste estudo selecionou-se a Estação 92356 do IBGE, localizada na laje da caixa-d'água do Edifício Ducal Center Palace, na Av. Rio Branco, esquina com a Rua João Pessoa, no centro da cidade de Natal, cujas coordenadas são $N= 9.359.993,489\text{m}$ e $E=255.596,330\text{m}$, $MC -33^\circ$.

No transporte de coordenada, aplicou-se o método de levantamento GPS estático para as estações base GPS. Para tanto, observou-se a especificação de 31 de março de 1993 estabelecida pelo IBGE (1993), cuja recomendação é a distância entre os aparelhos (ou linha base) não ser superior a 50km e respectivos tempos de rastreamento.

Nos levantamentos terrestres, utilizaram-se equipamentos de GPS geodésicos de dupla frequência (L1 e L2) para leituras em sistema de pós-processamento e tempo real (RTK). No transporte de coordenadas, aplicou-se o método de levantamento GPS estático para as estações base GPS.



Figura 2 – Localização do município de Rio do Fogo, RN, Brasil

A base GPS utilizada localiza-se no campo de dunas de Rio do Fogo, dentro do Parque Eólico de Rio do Fogo. Na seleção do local da base GPS, observaram-se as recomendações do fabricante e especificações da norma técnica (IBGE, 1993) quanto à obstrução do sinal GPS, ou seja, as observações GPS requerem a intervisibilidade entre a estação e os satélites.

Nesta pesquisa foi definida e ocupada uma estação dentro da área de estudo e suas coordenadas foram transportadas. No estudo selecionou-se a Estação 92356 do IBGE, localizada na laje da caixa-d'água do edifício Ducal Center Palace, na Av. Rio Branco, esquina com a rua João Pessoa, no centro da cidade de Natal, cujas coordenadas são N= 9.359.993, 489m e E=255.596,330m, MC -33°. Nesse mapeamento a laser, um receptor GPS localizado no Sistema de Medição Inercial (SMI) registra a posição da aeronave a intervalos fixos. Outro receptor baseado no solo (base GPS) fornece a correção diferencial para a determinação de posição mais precisa. O DGPS (GPS Diferencial) é um método de refinamento dos dados posicionais derivados do rastreamento GPS por meio da correção de erros inerentes ao processo. Com os pontos de solo, geraram-se as curvas de nível de 5 em 5 metros para possibilitar, então, a elaboração de mapa temático sobre a tendência do deslocamento das dunas de 2001 para 2006 na escala 1:10.000.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na pesquisa foi elaborado o mapa do monitoramento do deslocamento do campo de dunas de Rio do Fogo, gerado num contexto mais detalhado, cobriu o campo de dunas móveis; também elaborado para quantificar o deslocamento das dunas ativas e identificar as feições eólicas. Nesse mapa, na escala 1:10.000, observam-se superpostas a imagem a nuvens de pontos laser curvas de nível de 5 em 5 metros, e dois *zoom* gerando dois mapas de detalhe na

escala 1:2.000, com as curvas de níveis nas cores azul, que representam o levantamento a laser de 2001 enquanto as curvas de nível em vermelho, representam o levantamento a laser em dezembro/2004.

A análise da representação dos perfis permite concluir que no perfil 1, ilustrado na Figura 3, o campo de dunas apresentou um deslocamento na direção sudeste-noroeste, pois a linha de cor rosa que ilustra as curvas de nível de 2004 estão na frente das linhas azuis que ilustram as curvas níveis de 2001; resultado desencadeado pela direção predominante dos ventos alísios de sudeste que, segundo BIGARELLA (1971). No eixo vertical do perfil, apresenta uma altitude que se inicia em 15 metros, chegando à frente do campo de dunas com uma altitude de até 55 metros.

Nesse perfil permite-se observar, ainda, uma acumulação de sedimentos que leva a um aumento das cotas de relevo próximas à sua borda na sua porção noroeste do campo de dunas, em que se pode afirmar que a vegetação vem fixando parcialmente essas dunas, no entanto, sem conseguir fixar totalmente.

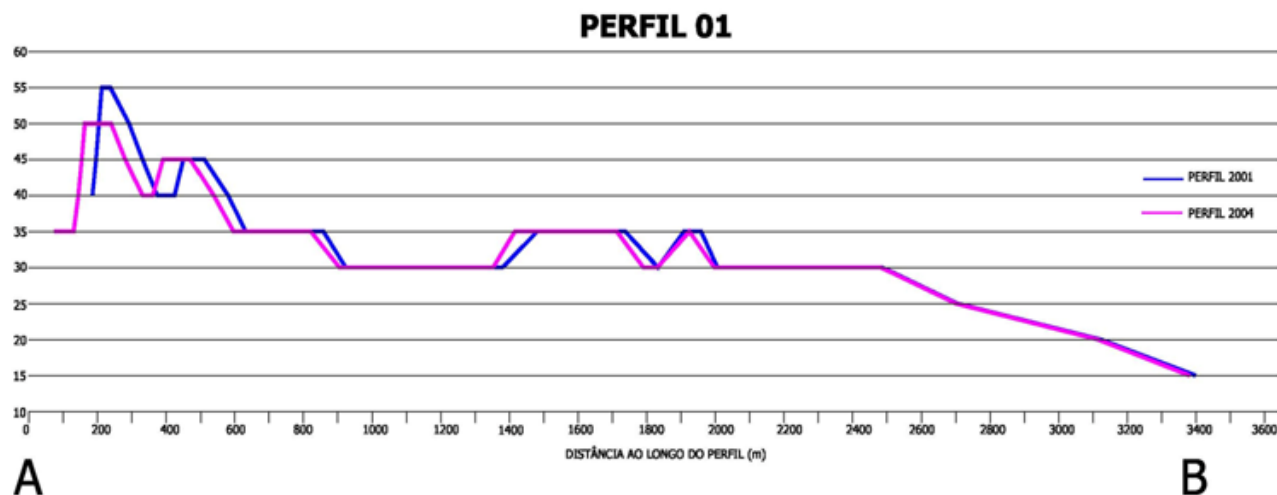


Figura 3 – Perfil 1 no sentido NO-SE do campo de dunas móveis de Rio do Fogo. Nota: No eixo horizontal representa as distâncias em metros ao longo do campo e eixo vertical as altitudes em metro

Notam-se pelo menos duas gerações de dunas. O perfil 2 (Figura 4) mostra que as dunas de maior altitude se localizam na parte central e noroeste do campo de dunas, atingindo uma altitude de até 40 metros, ocasionado por ser uma área mais exposta aos ventos e por ter menos barreiras. O mapa apresenta na porção sudeste uma grande quantidade de dunas barcanas compostas (essas formas parecidas com uma mão). Essas são bem mais rebaixadas. Isso indica que a oferta de areia diminuiu ou que o vento perdeu velocidade. Aliado a isso, existe esse fenômeno natural que pode estar relacionado com o maior densamento da vegetação nas bordas e na frente do campo de dunas.

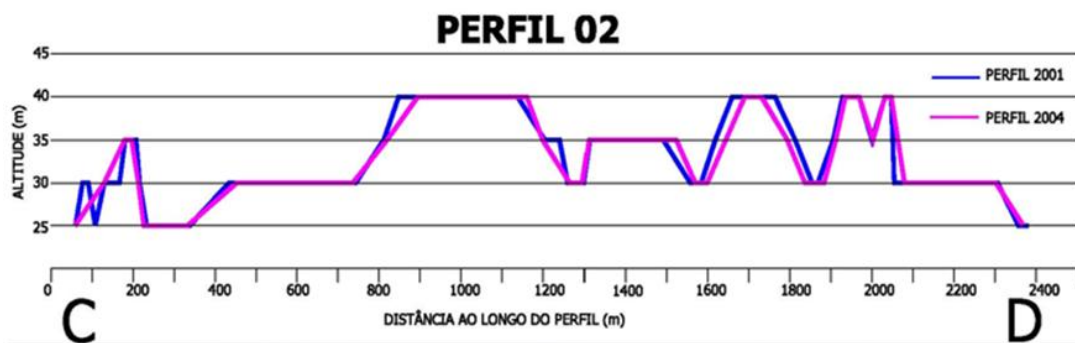


Figura 4 – Perfil 2 no sentido NE-SO do campo de dunas móveis de Rio do Fogo.

No mapa da Figura 6, registram-se também dois segmentos ao longo do campo de dunas perpendicularmente, um, no sentido NO-SE e o outro NE-SO. Esses segmentos ou cortes representam-se em perfis com duas dimensões: a seção horizontal representa a distância ao longo do perfil, e o eixo vertical representa a altitude em metros. As linhas na cor azul representam as curvas de nível do levantamento LIDAR aerotransportado realizado em 2001, e as linhas em rosa representam curvas de nível do levantamento LIDAR aerotransportado obtidas em dezembro de 2004.

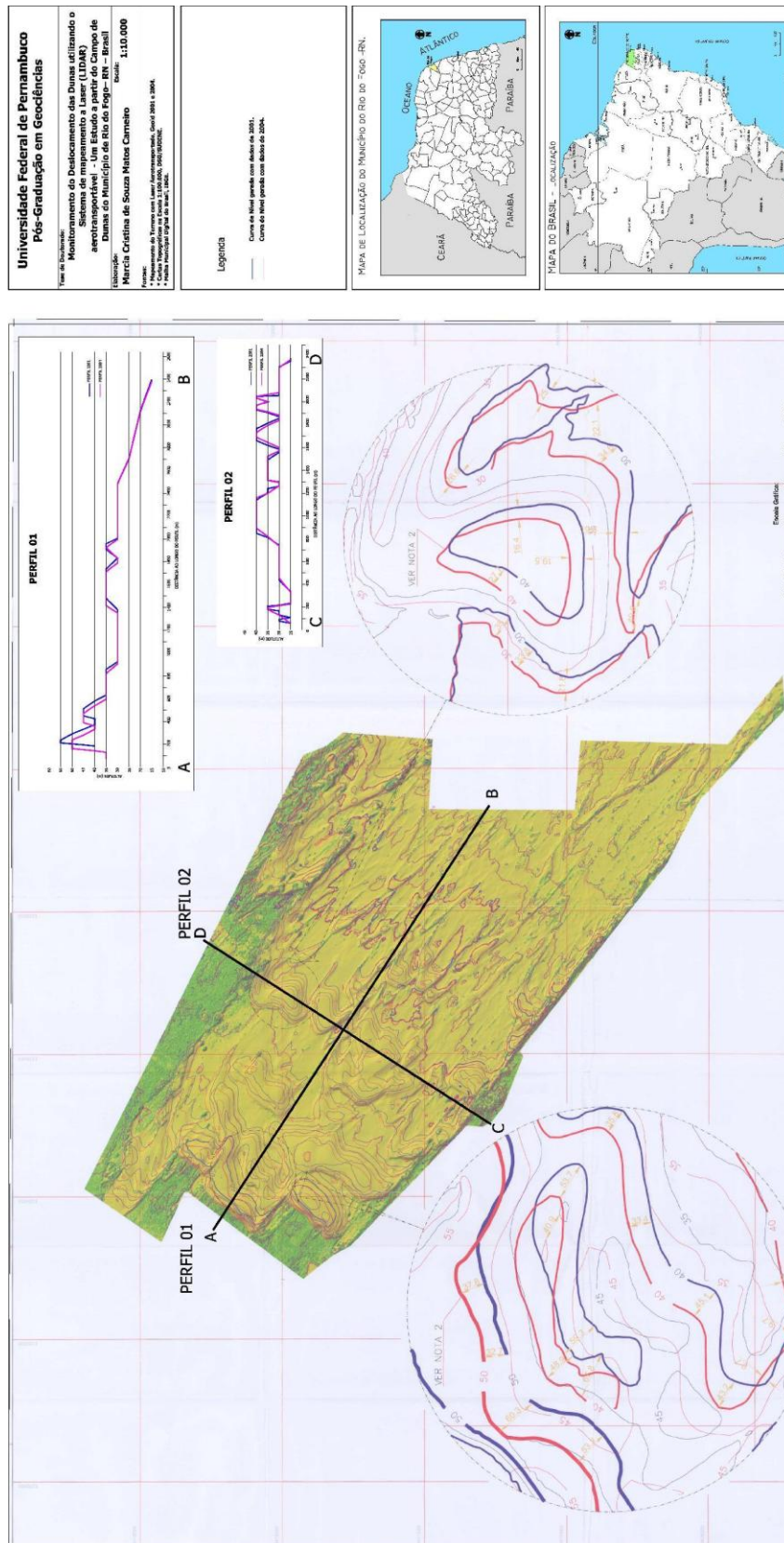


Figura 6 – Mapa de evolução do campo de dunas: a migração horizontal das dunas na escala de 1:10.000.
Fonte: CARNEIRO (2011).

5. CONCLUSÕES

Em razão da grande fragilidade ambiental encontrada na área do estudo e em todo o litoral potiguar, onde a estratégia de desenvolvimento se direciona à vocação turística do município e à ocupação antrópica, observa-se a necessidade premente de se efetivar a adoção de políticas públicas capazes de mitigar os impactos detectados nesse ecossistema, bem como a aplicação de leis complementares que coibam e regulem o uso do solo na área de dunas e seu entorno, ressaltando que tais medidas deverão ser acompanhadas da elaboração de Planos de Manejo para recuperar as áreas degradadas.

Diversos fatores influenciam as formas das dunas, tais como a interseção ou interação de distintas dunas, variação na direção e velocidade do vento, além da presença ou ausência de obstáculos ao longo do percurso dessas formas de leito. As taxas médias anuais de migração de dunas dependem consideravelmente das dimensões dessas formas de leito, caracterizando-se uma correlação inversa entre a taxa de migração e parâmetros como volume e altura das dunas.

A existência de uma perfeita correlação inversamente proporcional entre a taxa de migração, e a pluviometria demonstra o expressivo controle climático no desenvolvimento e movimentação das dunas eólicas na região. Pode-se destacar que existe uma importância da leitura dos fenômenos do tipo 'El Niño' e 'La Niña' para seu desenvolvimento.

Conclui-se que, para preservar campo de dunas ativas ou móveis, deve-se elaborar um estudo de análise da evolução histórica e evolutiva das feições do campo de dunas, subsidiando análise da previsão ambiental futura direcionada na perspectiva da preservação, permitindo sua sustentabilidade para gerações futuras. Nesse sentido, as evidências indicam que, para haver uma gestão ambiental sustentável na Unidade Ambiental Litorânea Eólica, é necessário mapear, monitorar e identificar os aspectos socioespaciais e naturais desse ambiente para garantir base de dados técnico-científicos utilizada no desenvolvimento de ações reguladoras que preservem essas áreas para gerações futuras.

A análise tridimensional e multitemporais do campo de dunas de Rio do Fogo revelaram um modelo digital de elevação complexa da morfologia do campo de dunas, com diferentes tipos de dunas que migram ao longo do tempo.

Na análise do mapa na escala 1:10.000 e perfis transversal e longitudinal do campo de dunas produzidos, pode-se concluir que as dunas tiveram uma migração horizontal no período de dois anos e onze meses, de 21,51 até 67,8 metros, e uma taxa de deslocamento anual variando de 7,36m/ ano a 23,22 m/ano, enquanto que a taxa de deslocamento horizontal mensal variou num intervalo de 1,25m/ mês a 1,83 m/mês, no sentido predominante do vento SE-NW, ocorrendo, portanto, uma perfeita correlação entre os dados de deslocamento gerados e a direção dos ventos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa GEOID patrocinadora da pesquisa, assim como o Eng. Claudio David dos Reis Vila Flor pelo apoio durante toda trabalho.

REFERÊNCIAS

CARNEIRO, M.C.de S. M.2011. *Monitoramento da Tendência de Deslocamento do Campo de Dunas de Rio Do Fogo – RN Utilizando Lidar Aerotransportável* :Um Estudo Do Campo de Dunas do Município de Rio Do Fogo RN – Brasil.. Tese de doutorado apresentada na Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, RECIFE, PE.

CARTER, R. W.G., 1988. *Coastal enviroment : an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coast line*. Academic Press, London.

BIGARALLA, J. J. 1971. *Variações climáticas no quaternário superior do Brasil e sua datação radiométrica pelo método do carbono 14*. *Paleoclimas*, 1: 1-22.

MUEHE, D. (org.), 2006. *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF.

SHORT, A. D. & HESP, P. A., 1982. Wave beach and dune interactions in southeastern Australia. *Marine Geology*, 48: 259-284.

DINIZ, R. F. & DOMINGUEZ, J. M. L., 1999. *Erosão costeira no litoral oriental do Rio Grande do Norte*. Congresso da Abequa, 7., Porto Seguro-BA. *Anais...* CD-ROOM.

MITASOVA, H; BERNSTEIN, D.; DRAKE, T. G.; HARMON, R. & MILLER, C., 2002a, September, 11-13. ***Spatio-temporal analysis of beach morphology using LIDAR, RTK GPS, and open source GRASS GIS***. Proceedings of the Open source GIS - GRASS users conference, Trento, Italy.

_____; DRAKE, T.; HARMON, R. S., HOFIERKA, J. & MCNINCH, J., 2002b, September, 11-13. ***Spatio-temporal monitoring of evolving topography using LIDAR, Real Time Kinematic GPS and sonar data***. Proceedings of the Open source GIS - GRASS users conference, Trento, Italy.

SHERMAN & HOTTA, 1990. Aeolian sediment transport: theory and measurement. In: Nordstrom, K. F.; Psuty, N. P. & Carter, R. W. G. ***Coastal dunes: form and process***. John Wiley. Chichester. cap. 2: p.17-37.

SHORT, A. D. & HESP, P. A., 1982. Wave beach and dune interactions in southeastern Australia.