

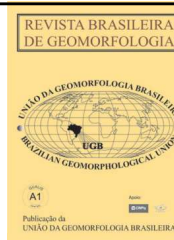


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 17, nº 4 (2016)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v17i4.671>



MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DE DETALHE PARA DELIMITAÇÃO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP) DE ZONAS COSTEIRAS EM ATENDIMENTO AO CADASTRO AMBIENTAL RURAL (CAR)

GEOMORPHOLOGICAL DETAIL MAPPING FOR DELIMITATION OF AREAS OF PERMANENT PRESERVATION (APP) OF COASTAL ZONE IN COMPLIANCE TO THE RURAL ENVIRONMENTAL REGISTRY (RER)

Anderson Targino da Silva Ferreira

Departamento de Análise Geoambiental, Universidade Guarulhos
Pça. Tereza Cristina, nº 229, Centro Guarulhos, São Paulo. CEP: 07023-070. Brasil
Email: atargino@prof.ung.br; andersontsferreira@gmail.com

Marcelo Soares Teles Santos

Centro de Formação em Ciências, Tecnologias e Inovação, Universidade Federal do Sul da Bahia
Campus Universitário, Itabuna, Bahia. CEP 45613-204. Brasil
Email: marcelostsantos@gmail.com

Lucyanno dos Reis Fernandes

Departamento de Geologia, Universidade federal do Ceará
Campus do Pici - Bloco 912, Fortaleza, Ceará. CEP 60455-760. Brasil
Email: lrfc.fernandes@gmail.com

Maria Carolina Hernandez Ribeiro

Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo
Praça do Oceanográfico nº191, São Paulo, São Paulo. CEP 05508-120. Brasil
Email: maria.carolina.ribeiro@usp.br

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
23/05/2016
Aceito (Accepted):
21/06/2016

Palavras-chave:

Altimetria GNSS; Modelo Digital de Elevação; Área de Preservação Permanente; Cadastro Ambiental Rural.

Keywords:

GNSS Altimetry; Digital Elevation Model; Areas of Permanent Preservation; Rural Environmental Registry.

Resumo:

Este trabalho teve como objetivo apresentar a metodologia para o mapeamento de Áreas de Preservação Permanente (APP) de zonas costeiras em atendimento ao Cadastro Ambiental Rural (CAR), adequada para escala de detalhe que exige o imóvel rural. A metodologia consistiu na geração do Modelo Digital de Elevação (MDE) da zona costeira, a partir do posicionamento GNSS (Global Navigation Satellite Systems); no mapeamento das feições morfológicas costeiras, com reconhecimento *in situ*; e no atendimento à legislação ambiental vigente quanto às definições de APP. No controle de qualidade do MDE do estudo de caso, as discrepâncias entre as altitudes do modelo e as de referência tiveram erro médio quadrático de 0,047 m. No mapa de APP, o índice de exatidão kappa com valor de 83% indicou que a probabilidade das categorias mapeadas (40% de APP e 60% passível de uso) terem sido classificadas corretamente representou uma avaliação muito boa, indicando a alta sensibilidade do mapa em classificar as unidades geomorfológicas do terreno. Os resultados obtidos mostraram que a

metodologia empregada tem amplo potencial (acurácia, eficiência, rapidez e baixo custo) na delimitação de APP de zonas costeiras em atendimento ao CAR, onde as feições morfológicas são normalmente de pequenas dimensões.

Abstract:

The aim of this work is to present a methodology for mapping of Areas of Permanent Preservation (APP) of coastal zones as requested by the Rural Environmental Registry (RER), which was adapted to the scale of detail requested by the rural property. The methodology consisted of the generation of a Digital Elevation Model (DEM) in the coastal zone using Global Navigation Satellite System (GNSS). This system will be applied on mapping of coastal morphological features (with *in situ* measurements) and on the compliance of the current environmental legislation regarding the definition of APP's. The quality control of the case study DEM revealed a quadratic average error of 0.047 meters, related to the comparison between DEM altitudes and the altitudes of reference. In the APP map, the kappa accuracy index (83%) suggested that the probability that the mapped categories (APP = 40% and usable areas = 60%) of the map were classified correctly represented a good evaluation. This indicates that the map showed a high sensibility on the classification of the geomorphological unities of the area. The results revealed that this methodology has high potential to be used in mapping of APP's of coastal zones and comply with the RER. In such areas (coastal areas), the morphological features are normally of small dimensions.

1. INTRODUÇÃO

O Cadastro Ambiental Rural (CAR) tornou obrigatório o registro das áreas ambientais (Área de Preservação Permanente – APP e Reserva Legal - RL) de todos os imóveis rurais no âmbito do Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente – SINIMA, entre outras providências. Esse sistema tem a finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais, compondo base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento (BRASIL, 2012).

Nas zonas costeiras, especificamente, a principal função das APP's é a proteção da região litorânea, e, entre elas, cita-se: i) proteção da faixa de praia contra os processos de erosão costeira; ii) prevenção de inundações contra os efeitos de ressacas e tempestades; iii) impedimento da intrusão salina no lençol freático e nos aquíferos, e; iv) atuação como importantes depósitos na retenção de água potável (CONAMA nº 303, 2002). No entanto, segundo Muehe (2001), o intenso processo de ocupação do espaço costeiro e sua utilização econômica com impactos tende a provocar alterações nessas zonas, o que pode levar à degradação da paisagem e dos ecossistemas, podendo chegar à própria inviabilização das atividades econômicas. Nesse sentido, a identificação, a delimitação e a quantificação das APP's desses ambientes se tornam de grande importância, principalmente no que diz respeito à gestão da zona costeira.

Na delimitação de unidades geoambientais de zonas costeiras, como campo de dunas, faixas de praia,

manguezais, entre outros, vários trabalhos acadêmicos já foram desenvolvidos, sobretudo com uso de imagens de satélites (sensores ópticos e radar) e de fotografias aéreas com cobertura regional. Em zona costeira, citam-se os trabalhos de Silva & Amaro (2008); Silva *et al.*, (2010); Grigio *et al.*, (2005; 2006); Boori *et al.*, (2011); Pereira *et al.*, (2011); Fernandes & Amaral (2013) e Amaro *et al.*, (2015). No entanto, em áreas onde as feições morfológicas possuem dimensões relativamente pequenas, tais feições são dificilmente detectadas pela maioria dos sensores remotos orbitais e aéreos disponíveis, pois são dependentes, entre outros fatores, da resolução espacial. Cita-se, por exemplo, o trabalho de Miceli *et al.*, (2011), que apontaram erros médios quadráticos variando entre 7,6 e 20,8 metros para dados altimétricos derivados dos modelos SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) e ASTER GDEM (*Global Digital Elevation Model*).

Assim, para alcançar a escala de detalhe adequada ao CAR, se faz necessário o uso de levantamentos topográficos ou geodésicos planialtimétricos de alta precisão e resolução, realizados *in situ* nos limites das feições morfológicas, essas marcadas por diferenças altimétricas e de declividade (elevações e depressões). Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é apresentar metodologia de mapeamento de APP de zonas costeiras, especialmente aquelas de pequenas dimensões (alguns metros de altura e largura), baseada na modelagem digital de elevação obtida pelo posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*), no reconhecimento de feições morfológicas *in situ*. e na consulta à legislação ambiental vigente. Para isso, foi utilizado como estudo de caso uma

propriedade rural localizada no litoral do município de Rio do Fogo, Estado do Rio Grande do Norte.

Na região litorânea do Estado do Rio Grande do Norte, os campos de dunas ativas e inativas (vegetadas) são unidades geomorfológicas de diferentes dimensões formadas predominantemente por depósitos eólicos de origem marinha e/ou continental (BARRETO *et al.*, 2004). No litoral oriental do RN, Costa (1971) identificou quatro gerações de dunas, onde classificou-as da mais antiga para a mais nova: i) dunas mais antigas, de coloração avermelhada e alturas predominantes de 40 a 60 metros; ii) dunas de idade intermediária, de coloração amarelada e alturas variando de 80 a 120 metros, ocupando uma faixa paralela à linha de costa com largura média de 1.500 metros; iii) dunas do Pleistoceno Superior, de coloração esbranquiçada a amarelada e morfologia relativamente plana com altitudes variando de 1 a 10 metros; e, iv) dunas atuais, de coloração esbranquiçada a amarelada com altitudes variando também de 1 a 10 metros. Portanto, a metodologia empregada nesse trabalho é adequada às duas últimas gerações de dunas (iii e iv), justamente nos tipos em que a maioria das imagens de satélites não são indicadas.

2. ÁREA DE ESTUDO, CAR E LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

2.1 Área de estudo

A área de estudo (Figura 1.a) localiza-se no Litoral Oriental do Estado do Rio Grande do Norte (RN) e faz parte da faixa sedimentar costeira dominada “Bacia Pernambuco-Paraíba”, que é composta por rochas

sedimentares do Cretáceo recobertas por rochas do Grupo Barreiras e sedimentos quaternários, como campos de dunas móveis e vegetadas e terraços marinhos e aluvionares, com coberturas arenosas diversas. As principais características físicas deste setor costeiro são a predominância de praias intermediárias em formato de *zeta*, com faces de praias estreitas expostas às ações do clima de ondas com sedimentos médios disponíveis à dinâmica marinha (VITAL, 2006).

O clima é tropical quente, úmido e sub-úmido (NIMER, 1989). Os ventos apresentam proveniência no quadrante SE, com velocidades variando entre 3,8 e 5 m/s, medidas na estação de Natal/RN (INMET, 2015). O regime de marés dominante é o semidiurno, com amplitudes máximas de maré de sizígia em torno de 2,6 m. Dados de correntes de deriva litorânea apontam para velocidades em torno de 0,1 a 0,8 m/s, predominantemente no sentido de sul para norte (VITAL, 2006). De acordo com a base de dados do Sistema de Modelagem Costeira (SMC) - Brasil, as alturas significativas das ondas observadas ao largo, em profundidades de 20 m, indicaram quatro direções preferenciais (ENE, E, ESE e SE) que, somadas, representam 99,9% das observações, com destaque para ESE (75,5%) e E (19,8%). As alturas significativas de ondas medianas ($H_{s_{50\%}}$) foram de 1,4 m e o período médio de 7,8 s (SMC-BRASIL, 2014).

Por se tratar de um ambiente costeiro, diversos processos morfogenéticos estão em constante atuação, movidos pela ação de agentes dinâmicos como ondas, marés, correntes litorâneas, chuvas, ventos e suas variações no tempo geológico, provocando modificações na configuração geomorfológica local (Figura 1.b).

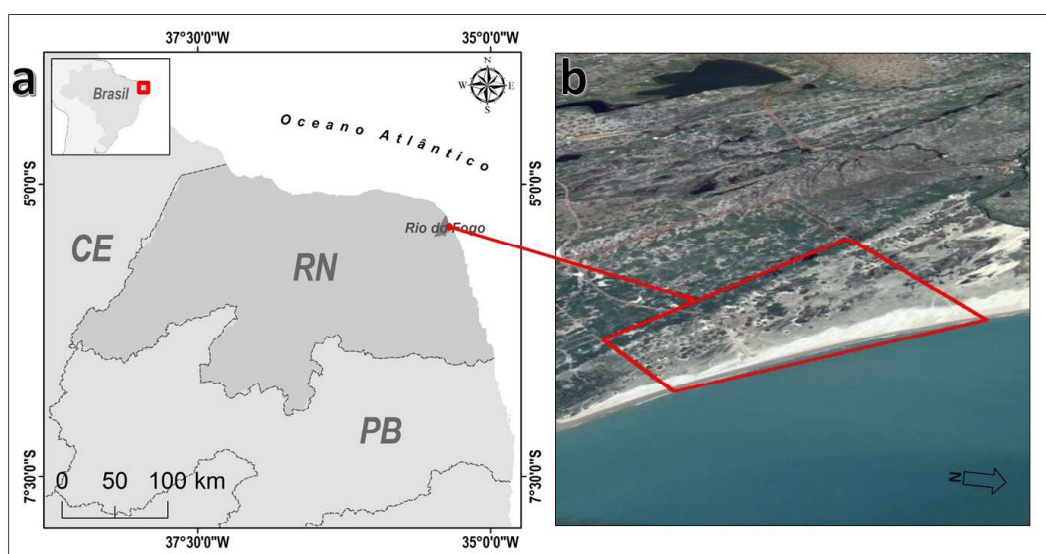


Figura 1 - (a) Mapa de localização da área de estudo. (b) Perspectiva da área de estudo. Imagem: Google Maps <<https://www.google.com.br/maps/>>.

2.2 Cadastro Ambiental Rural (CAR)

O Cadastro Ambiental Rural (CAR) foi criado através do Artigo 29 da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que estabeleceu normas gerais sobre a proteção da vegetação, Áreas de Preservação Permanente (APP) e as áreas de Reserva Legal (RL), entre outras providências (BRASIL, 2012). O CAR foi criado no âmbito do Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente - SINIMA, registro público eletrônico de âmbito nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais. Este tem por finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais, compondo base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento.

O § 1º do referido artigo estabelece que a inscrição do imóvel rural no CAR deverá ser feita, preferencialmente, no órgão ambiental municipal ou estadual, que, nos termos do regulamento, exigirá do proprietário ou possuidor rural, entre outros, identificação do imóvel por meio de planta e memorial descritivo, contendo a indicação das coordenadas geográficas com pelo menos um ponto de amarração do perímetro do imóvel, informando a localização dos remanescentes de vegetação nativa, das Áreas de Preservação Permanente (APP), e da localização da Reserva Legal (RL).

2.3 Áreas de Preservação Permanente definidas na legislação ambiental

A definição de APP encontra-se no inciso II do Artigo 3º da Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012). De acordo com o texto, APP's são áreas protegidas, cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. Nestas áreas não pode haver nenhum tipo de exploração.

Nas definições das unidades geomorfológicas e das APP de zonas costeiras foram consideradas as legislações ambientais vigentes, estadual e federal, apresentas a seguir:

Na legislação estadual, a Lei nº 7.871 (RIO GRANDE DO NORTE, 2000), que dispõe sobre o Zoneamento Ecológico-Econômico do Litoral Oriental do Rio Grande do Norte, estabelece em seu Artigo

9º, como Áreas de Preservação (AP), entre outras, as *dunas com cobertura vegetal*, as *dunas sem cobertura vegetal*, e as *praias*, julgadas de importância ambiental pelo órgão competente, tendo por base estudos técnicos. Nessa lei, o Artigo 3º dá as seguintes definições: inciso V - *Duna*: montes de areias depositados pela ação do vento dominante, podendo ser móveis ou fixas, desnudas ou cobertas por vegetação, e; inciso XVI - *Praia*: área coberta e descoberta periodicamente pelas águas, acrescida da faixa subsequente de material detrítico, tal como areia, cascalho, seixos e pedregulhos, até o limite onde se inicie a vegetação natural, ou em sua ausência, onde comece um outro ecossistema.

A Resolução CONAMA nº 303 (2002), em seu Artigo 3º, inciso XI estabelece ainda que sejam consideradas Áreas de Preservação Permanente as áreas situadas em: *duna*. Definida no seu Artigo 1º, inciso X, como: *unidade geomorfológica de constituição predominante arenosa, com aparência de cômoro ou colina, produzida pela ação dos ventos, situada no litoral ou no interior do continente, podendo estar recoberta, ou não, por vegetação*.

Na legislação federal, a Lei nº 12.651/12 (novo código florestal), que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, entre outras, classifica como Área de Preservação Permanente (APP), em seu Capítulo II, Artigo 4º, inciso VI, *as restingas, como fixadoras de dunas*.

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada no presente trabalho consistiu nas seguintes etapas: a) geração do MDE da zona costeira; b) geração do mapa de unidades geomorfológicas da zona costeira; c) geração do mapa de APP da zona costeira; e d) avaliação da acurácia do MDE e do mapa de APP.

3.1 Geração e avaliação do MDE

O MDE foi gerado a partir das coordenadas geodésicas (latitude, longitude e altitude geométrica) de pontos topográficos amostrais coletados em campo pelo posicionamento GNSS. Para isso, foi utilizado o posicionamento GNSS no método relativo cinemático pós-processado, no qual dois receptores coletam dados, simultaneamente, durante um determinado intervalo de tempo, sendo um instalado em uma estação de referência (*Estação Base*, de coordenadas conhecidas)

e o outro nos pontos de interesse (*Estações Móveis*) (SEEBER, 1993; MONICO, 2007). Os dados rastreados foram armazenados nos receptores e, posteriormente, transferidos para o computador, onde foram processados e ajustados (no *software* Topcon Tools, versão 7.5.1, da Topcon). A estação de referência implantada no interior da área de estudo forneceu linhas de base curtas em toda a área de estudo (máximo de 1 km). Os caminhamentos foram realizados em perfis topográficos distribuídos transversalmente em relação às principais feições morfológicas encontradas no terreno, na tentativa de representá-las da maneira mais fiel possível. A taxa de amostragem dos dados GNSS foi de 1 ponto por segundo.

No posicionamento da estação de referência foram utilizadas as estações ativas da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC mais próximas da área de estudo (Natal/RN-RNNA; Mossoró/RN; RNMO e Campina Grande/PB-PBCG), as quais possuem coordenadas geodésicas no sistema SIRGAS2000. O receptor utilizado foi do modelo Trimble 5700, com precisão

nominal horizontal de $\pm 5 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$ e vertical de $\pm 5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$, que rastreia observações da fase da onda portadora nas frequências L1 e L2. O receptor utilizado nas estações móveis foi um modelo *Trimble R3*, que rastreia observações da fase da onda portadora na frequência L1 e possui precisão nominal horizontal de $5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ e vertical de $5 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$.

As altitudes geométricas obtidas com GNSS (relacionadas ao elipsóide de referência adotado no sistema SIRGAS2000) foram convertidas em altitudes ortométricas (H) (nível médio do mar do *datum* de Imbituba/SC, do Sistema Geodésico Brasileiro - SGB) através da altimetria com GNSS (Figura 2). O cálculo consiste em determinar a altitude ortométrica (Equação 1) de um ponto de interesse através da diferença entre a altitude geométrica (h), determinada com GNSS, e a altura geoidal (N), determinadas a partir do modelo geoidal do IBGE, o MAPGEO2010 (IBGE, 2014).

$$H = h - N \quad (1)$$

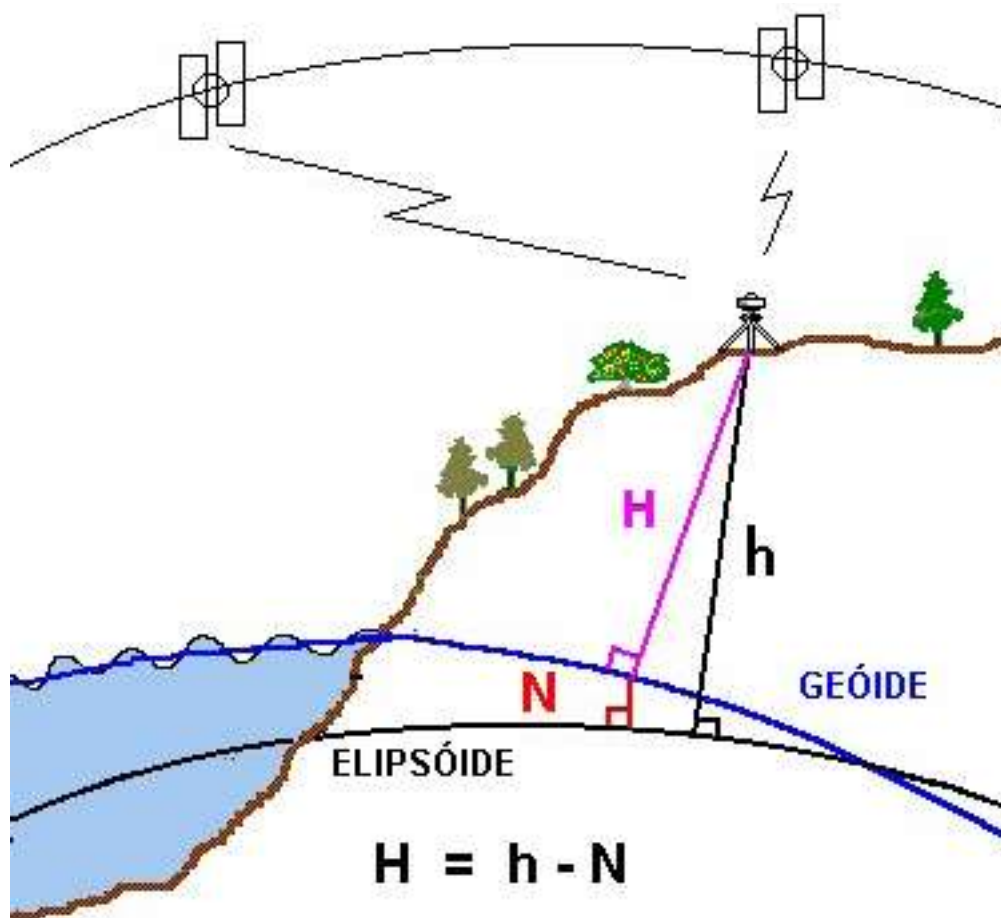


Figura 2 – Modelo da altimetria por GPS. Fonte: MAPGEO2010 (IBGE, 2014).

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi gerado pela interpolação dos pontos de controle obtidos pelo GNSS com uso do método da triangulação TIN (*Triangulated Irregular Network*), e os pontos foram conectados de acordo com a triangulação de Delaunay, que utiliza o critério da maximização dos ângulos mínimos de cada triângulo (SANTOS *et al.*, 2011). O controle de qualidade do MDE foi realizado a partir de um conjunto de pontos de controle selecionados aleatoriamente na área de estudo e que não foram usados na geração dos modelos; a medida de acurácia foi dada pelo Erro Quadrático Médio (EQM), dado por (MONICO *et al.*, 2009):

$$EQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta H_i^2}{n}} \quad (2)$$

onde, $i = 1, 2, 3, \dots, n$, n é o número de pontos de controle utilizados na avaliação, e ΔH_i é o conjunto de discrepâncias entre as altitudes ortométricas obtidas no modelo (H_i^m) e as de referência (H_i^r), dadas pela expressão:

$$\Delta H_i = H_i^m - H_i^r \quad (3)$$

3.2 Geração e avaliação do mapa de APP

O mapa de unidades geomorfológicas foi gerado pelo reconhecimento, *in situ*, das unidades geomorfológicas presentes no MDE, e o mapa de APP de acordo com as unidades geomorfológicas mapeadas e das legislações ambientais estadual e federal vigentes (apresentadas no item 2.3).

A avaliação da exatidão da classificação do mapa de APP foi realizada a partir da técnica analítica do índice kappa (k), que expressa, a partir de pontos de controle, a medida da diferença e a probabilidade de concordância entre os dados de referência e a classificação (RICHARDS & JIA, 2006; CONGALTON, 1983; 1991; LILLESAND *et al.*, 2004). O índice kappa incorpora os elementos das linhas e das colunas marginais referentes aos erros de classificação, além dos que se situam na diagonal principal, ou seja, todo o parâmetro k é um coeficiente de concordância que considera toda a matriz de erro. Conceitualmente, o índice k pode ser definido como:

$$k = \frac{N \sum X_{ii} - \sum X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum X_{i+} X_{+i}} \quad (4)$$

onde, N é o total de elementos observados, X_{ii} = concordância observada; $X_{i+} X_{+i}$ o produto das marginais, sendo

a concordância esperada.

Como referências foram utilizados 47 pontos de controle localizados na área de estudo, sendo 21 representativos de feições morfológicas reconhecidas como APP e 26 referentes a feições caracterizadas como passíveis de uso.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Modelo Digital de Elevação

A Figura 3 apresenta a distribuição espacial dos pontos amostrais do levantamento GNSS realizado (Figura 3a) e o MDE gerado (Figura 3b) da área de estudo. De modo geral, o MDE apresentou predominância de áreas planas, com trechos suavemente ondulados a ondulados, como visualizados na Figura 3c.

No processamento de dados da estação GNSS de referência (Figura 3d) foram obtidas as seguintes precisões nas coordenadas geodésicas: média de 0,018 m e desvio padrão de 0,013 m em N, média de 0,040 m e desvio padrão de 0,018 m em E, e média de 0,048 m e desvio padrão de 0,036 m em h. A altitude ortométrica da estação de referência, calculada a partir do modelo geoidal MAPGEO2010, foi de 5,15 m. Os pontos amostrais das estações GNSS móveis, coletados com a taxa amostral de um ponto por segundo e 212 pontos por hectare, tiveram precisões nas coordenadas geodésicas com média de 0,013 m e desvio padrão de 0,018 m em N, média de 0,024 m e desvio padrão de 0,030 m em E, e média de 0,022 m e desvio padrão de 0,043 m em h. No controle de qualidade do MDE, a partir de pontos de controle externos ao modelo, as discrepâncias entre as altitudes do modelo e as de referência tiveram média de -0,010 m, desvio padrão de 0,029 m e erro quadrático médio de 0,047 m. Esses resultados, apontam para um padrão de exatidão cartográfica “classe A” para escalas entre 1:1.000 e 1:2.000, segundo o Decreto Nº 89.817 de 20 de Junho de 1984 (BRASIL, 1984) e mostram a sensibilidade do MDE em representar feições morfológicas com dimensões decimétricas.

4.2 Mapa de unidades geomorfológicas e de APP da zona costeira

A Figura 4 apresenta o mapa de unidades geomorfológicas (Figura 4a) e o mapa de APP da zona costeira (Figura 4b) em estudo, gerados a partir do MDE (Figura 3b), do reconhecimento das feições morfológicas *in situ* e da análise da legislação ambiental vigente (ver item 2.3).

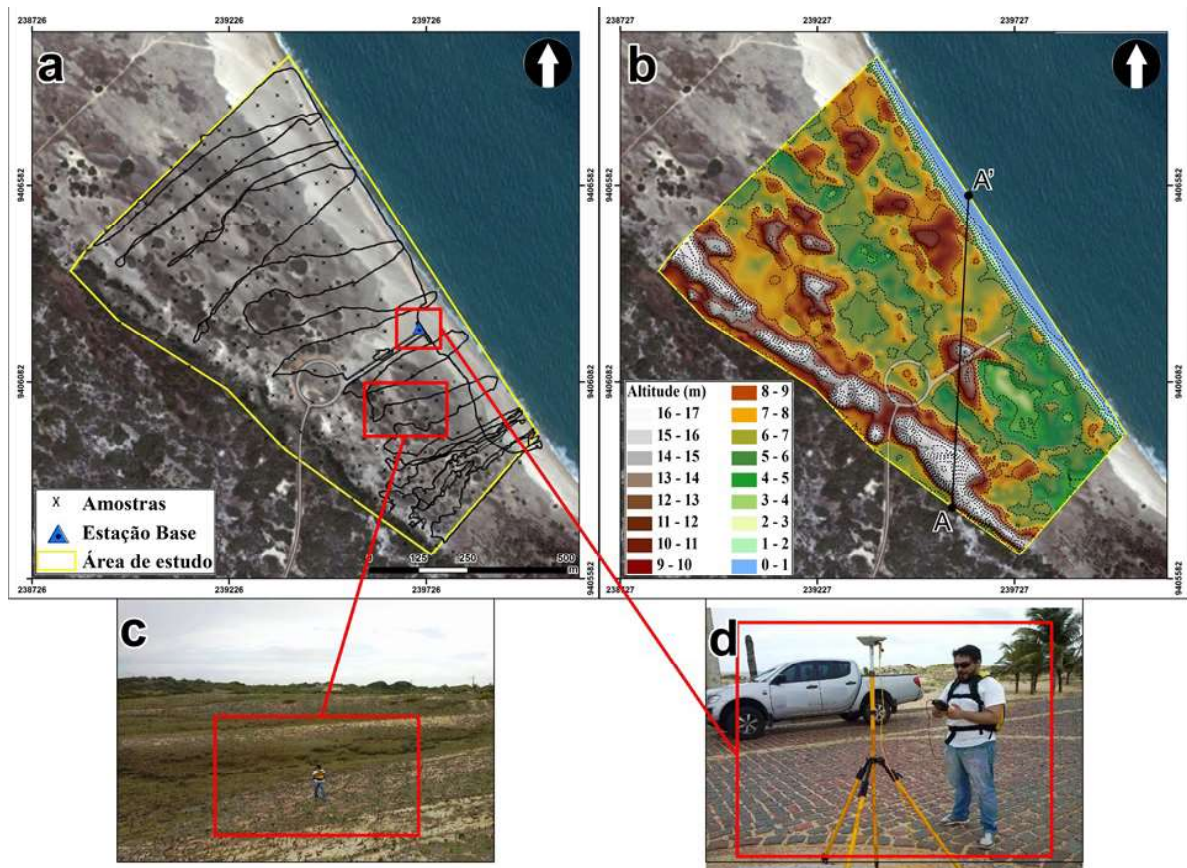


Figura 3 – (a) Distribuição espacial dos pontos amostrais do levantamento geodésico realizado; (b) Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo; (c) visão oblíqua do caminhar da estação GNSS móvel; (d) vista da estação GNSS de referência implantada. Corte A-A' da Figura 3b demonstrado na Figura 5.

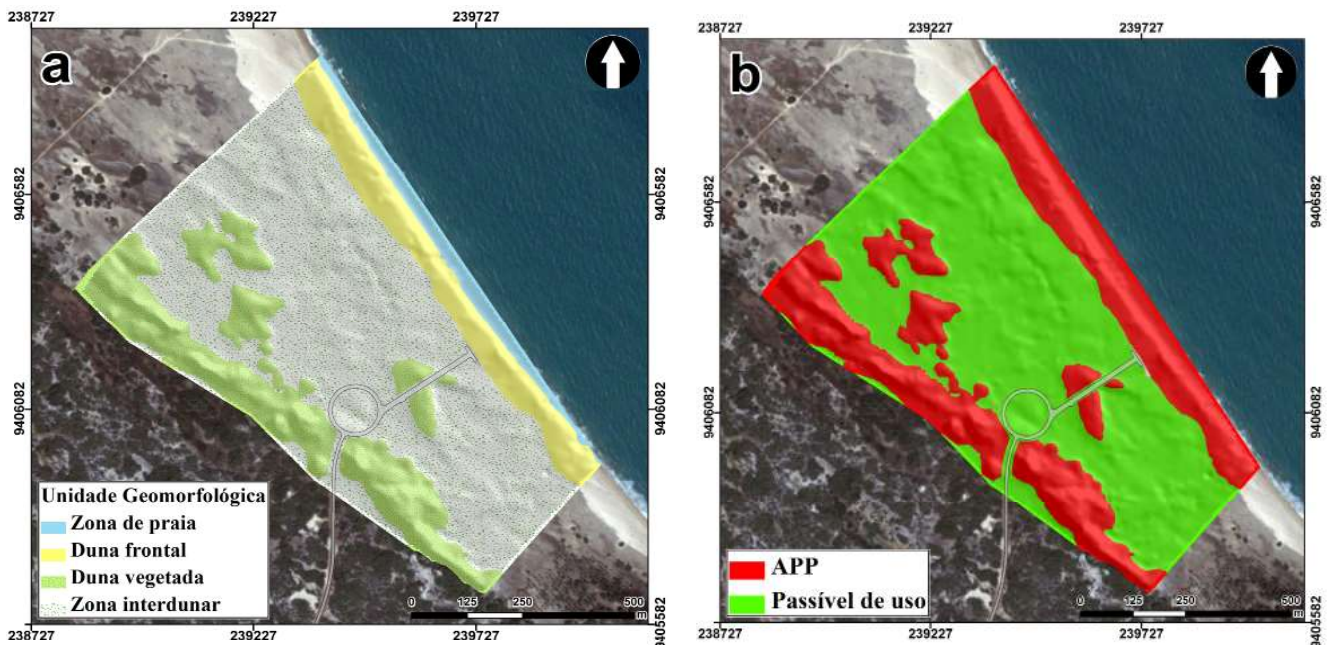


Figura 4 – (a) Mapa de unidades geomorfológicas, e; (b) mapa das Áreas de Preservação Permanente (em vermelho) da zona costeira da área de estudo. Sistema de projeção UTM, Datum horizontal SIRGAS2000, Fuso 25 Sul.

No mapa de unidades geomorfológicas da Figura 4a foram identificadas quatro unidades predominantes dentro desta porção da zona costeira, que implicam em elementos da paisagem importantes na perspectiva ambiental: i) zona de praia - área de intermaré com altitudes de 0 a 2 e declividade média de 2,9°; ii) dunas frontais - aparência de colina, altitudes de 2 a 4 metros e declividade média de 3,5°; iii) dunas vegetadas - aparência de colina, altitudes de 2 a 6 metros e declividade média de 5°, e; iv) zona interdunar - com altitudes de 2

a 6 metros e declividade média de 1,45°, representadas, nesse trabalho, como aquelas unidades geomorfológicas do tipo planície de deflação e depressão interdunar. As planícies de deflação apresentaram geometria relativamente plana e nitidamente deflacionares, enquanto as depressões interdunares mostraram-se ligeiramente côncavas com ação deposicional eólica evidente, como apontado por Giannini *et al.*, (2008). A Tabela 1 mostra que as áreas de zonas interdunares possuem maior domínio, com cerca de 60% da área de estudo.

Tabela 1: Unidades geomorfológicas da área de estudo com suas respectivas porcentagens de área.

Classe	Restrição quanto ao uso	Hectares	%
Zona de praia	APP	2,84	4
Duna frontal	APP	8,01	12
Duna vegetada	APP	16,75	24
Zona interdunar	Passível de uso	41,23	60
Área total		68,82	100

Na identificação das quatro unidades geomorfológicas mapeadas (zona de praia, dunas frontais e vegetadas, zona interdunar), parâmetros como forma e declividade foram essenciais. Assim, a Figura 5 apresenta, como exemplo, o perfil topográfico (A-A') do corte representado na Figura 3b, para observação das principais unidades geomorfológicas mapeadas na Figura 4a (identificadas *in situ*), as quais subsidiaram a delimitação das feições morfológicas. No perfil da Figura 5, do continente até o mar, têm-se: dunas vegetadas, em forma de cômodo ou colina, marcadas pela ruptura de declividade e separadas por depressões interdunares; planície de deflação, de

relevo plano a suavemente ondulado; dunas frontais e zona de praia com cotas inferiores a 2 m.

No mapa de APP da Figura 4b foram destacadas duas categorias: APP e passível de uso. As áreas passíveis de uso (áreas em verde na Figura 4a) foram inseridas dentro dos limites da zona interdunar (planície de deflação e depressão interdunar), que totalizam cerca de 60% de toda a área em questão (áreas em verde na Figura 4b). As APP's (impossibilitadas de uso), localizadas nas áreas referentes às unidades geomorfológicas de zona de praia, dunas frontais e dunas vegetadas, somaram cerca de 40% do total da área de estudo (áreas em vermelho na Figura 4b).

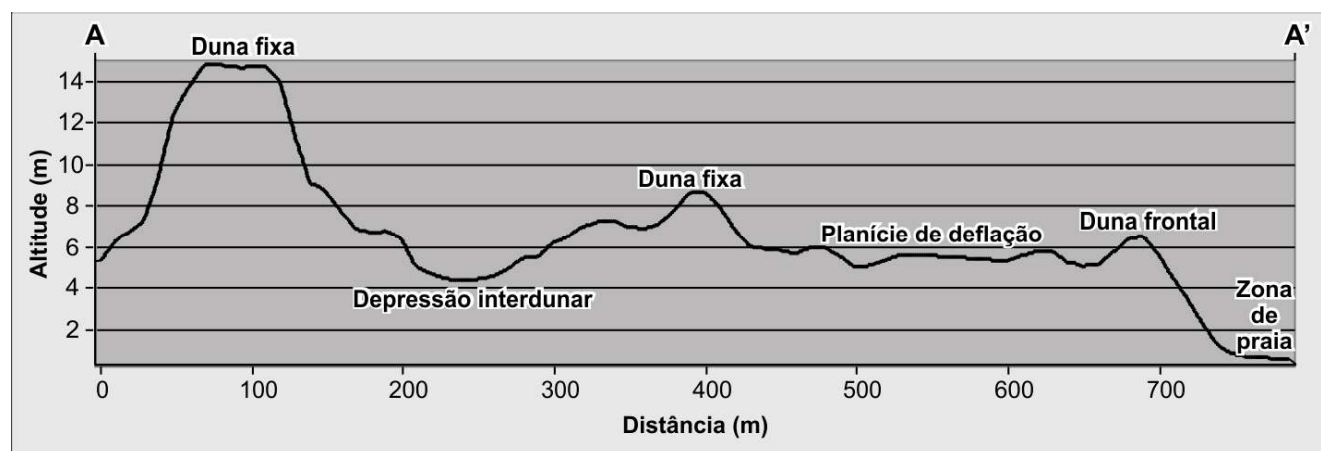


Figura 5 – Perfil topográfico (A-A') do corte representado na Figura 3b, para observação das principais unidades geomorfológicas mapeadas na Figura 4a, identificadas *in situ*.

Os resultados da avaliação da exatidão da classificação do mapa de APP, pelo índice kappa (Equação 4), indicaram probabilidade de 83% das categorias mapeadas como “APP” e “passível de uso” (Figura 4) terem sido classificadas corretamente, representando uma avaliação “muito boa”, de acordo com a tabela de referência encontrada em Lands & Koch (1977). Esses resultados mostraram alta sensibilidade do mapa de unidades geomorfológicas em classificar as feições morfológicas reais do terreno.

4.3 Análise das unidades geomorfológicas mapeadas

A Figura 6 ilustra as unidades geomorfológicas identificadas *in situ* na área de estudo. Na Figura 6a, as setas pretas apontam para as dunas frontais que marcam o limite entre a zona de praia e a planície de deflação. A zona de praia possui uma face com inclinação média de 2,9°, que, de acordo com os valores de ômega (Ω) fixados por Wright *et al.* (1985) e por meio da Equação 5, proposta por Klein (1997), apresenta um estágio de “praia intermediária” ($\Omega=4,4$), típico dessa porção do litoral do RN (FERREIRA *et al.*, 2014). Na mesma Figura 6a destaca-se, ainda, o cordão de dunas frontais (BIGARELLA *et al.*, 1972) paralelo à linha de costa, resultante do acúmulo contínuo de areia devido à ação eólica (HESP

et al., 2005), que na figura aparece recoberto por uma “rala” cobertura vegetal herbácea.

$$\Omega = 0,225/Tan\beta \quad (5)$$

Após as dunas frontais, o início da planície costeira é marcado por um relevo plano a suavemente ondulado, formado por sedimentos eólicos oriundos da zona de praia e por rastros lineares decorrentes da migração das dunas (setas pretas na Figura 6b) (CLAUDINO-SALES & PEULVAST, 2002; GIANNINI, 2007). Na Figura 6c, a seta preta indica a superfície livre desta porção da zona costeira que se configura como uma planície de deflação. Ela é caracterizada por depósitos eólicos que formam lençóis de areia, retrabalhados constantemente pela ação do vento (BAGNOLD, 1941; GIANNINI *et al.*, 2005). Na Figura 6d, as setas pretas e a verde apontam, respectivamente, para dunas recobertas por vegetação herbácea e para o cordão dunar coberto por vegetação nativa arbustiva/arbórea, que atualmente podem ter seu nível de base na interduna em forma de “U” (depressão interdunar, representada no perfil da Figura 5), que favorece o acúmulo de água em períodos chuvosos (setas azuis na Figura 6d) (CUNHA *et al.*, 1990; HESP, 2000; AMARAL, 2008).

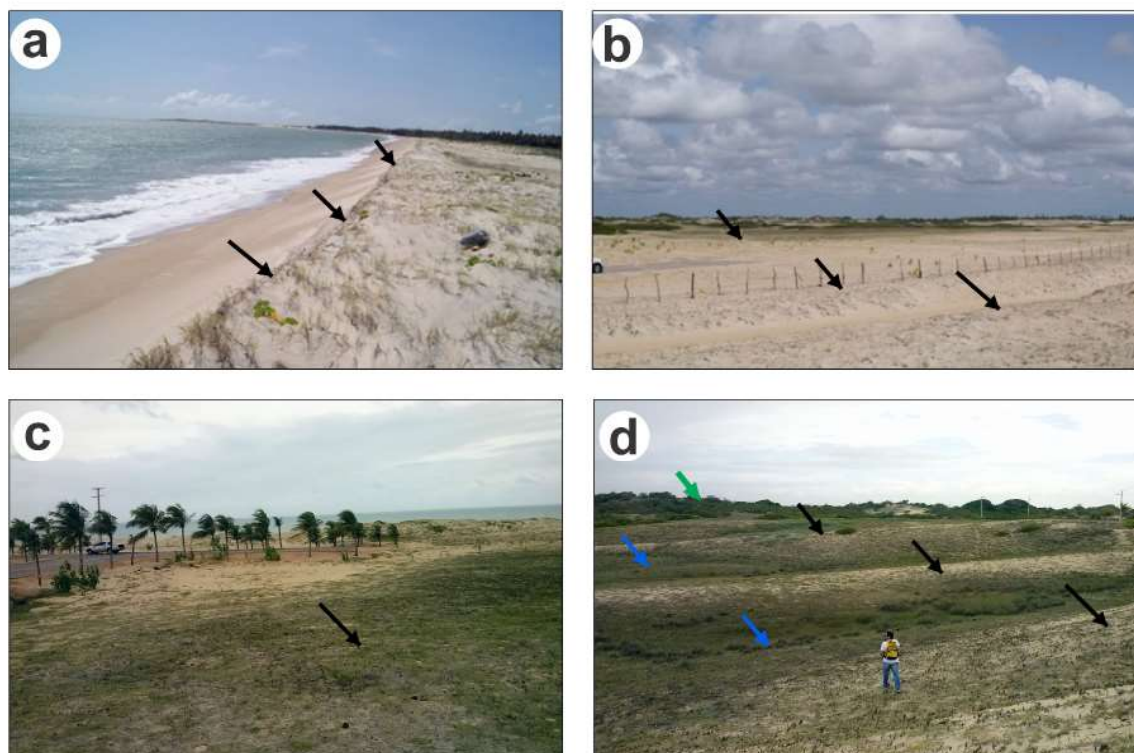


Figura 6 – (a) Limite entre zona de praia e planície de deflação marcada pela presença das dunas frontais; (b) planície costeira marcada por rastros lineares; (c) vista parcial da área de estudo e da planície de deflação; (d) visão oblíqua do campo de dunas vegetadas e das depressões interdunares associadas. As setas indicam feições descritas no corpo do texto.

4.4 Uso e ocupação do solo em áreas costeiras

As dunas, além da excepcional beleza cênica e paisagística, são de fundamental importância na dinâmica da zona costeira, no controle dos processos erosivos e na formação e recarga de aquíferos (CONAMA nº 341, 2003). Nesse sentido, qualquer alteração das suas propriedades físicas, químicas e biológicas causada por atividades antrópicas, segundo a Resolução CONAMA nº 001 (1986), é definida como “impacto ambiental”, pois pode afetar direta ou indiretamente: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e V - a qualidade dos recursos ambientais. No entanto, a resolução CONAMA nº 369/06, que dispõe sobre os casos excepcionais de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, possibilita a intervenção ou supressão de vegetação em APP, inclusive das dunas.

Considerando que as dunas frontais têm função de defesa da orla costeira contra a ação direta de ondas e a erosão sedimentar (SANTOS & AMARO, 2013) e que as zonas interdunares (planície de deflação e depressão interdunar) têm a função de transferência do fluxo sedimentar entre essas dunas frontais e a planície costeira (FERNANDES & AMARAL; MALTA & AMARAL, 2013), o Artigo 3º da CONAMA nº 341 (2003) aponta que mesmo para atividades ou empreendimentos turísticos sustentáveis declarados como de interesse social, as dunas passíveis de ocupação deverão estar previamente definidas e individualizadas, em escala mínima de até 1:10.000, compatível com o que é apresentado nesse trabalho.

Assim, o cadastro das feições ambientais da zona costeira na escala detalhe, poderá, de acordo com as diretrizes definidas pela Lei nº 7.661 de 16 de maio de 1988 (BRASIL, 1988), ser utilizado na implantação de planos municipais de gerenciamento costeiro, na regulamentação de uso do solo, na fiscalização dos patrimônios públicos e culturais do litoral, e na adoção de medidas que levem à redução dos riscos de desastres, das perdas humanas e do patrimônio.

Dessa forma, para um melhor conhecimento do ambiente físico e avaliação dos possíveis impactos ambientais causados pela ocupação da zona costeira, especialmente em dunas passíveis de ocupação, Neves & Muehe (2008) recomendam o uso do Modelo Digital de Elevação (MDE) como ferramenta de planejamento

para qualquer ação futura além de um programa de monitoramento ambiental de longo prazo, envolvendo parâmetros geodésicos, geomorfológicos, meteorológicos e oceanográficos.

Por fim, os mapeamentos ambientais disponibilizados pelo CAR serão importantes na regularização de áreas ambientais, permitindo que os gestores tomem decisões fundamentadas sobre as questões costeiras, tais como a preservação dos recursos naturais e consequente redução de gastos, com mitigação de impactos ambientais.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostraram que a metodologia empregada tem amplo potencial na delimitação de APP de zonas costeiras em atendimento ao CAR na escala de detalhe, onde as feições morfológicas são normalmente de pequenas dimensões. Benefícios como extensão espacial, acurácia, eficiência, simplicidade operacional, rapidez e baixo custo, além do uso de referenciais geodésicos adequados (fixos, unívocos e relativamente estáveis no tempo), tornaram o uso do posicionamento GNSS essencial no mapeamento dos limites das unidades geomorfológicas *in situ* (marcadas por diferenças altimétricas e de declividade - elevações e depressões), o que permitiu a compartimentação geomorfológica. No entanto, foi necessário o conhecimento técnico dos limites das feições morfológicas costeiras encontradas na área de estudo, para o reconhecimento *in situ*, além da identificação de tais feições no MDE gerado.

No mapeamento geomorfológico foi possível mapear, com alta precisão relativa, cerca de 60% de áreas aptas à ocupação (planícies de deflação e depressões interdunares), e aproximadamente 40% de APP, inaptas à ocupação. No entanto, apesar da legislação ambiental permitir o uso antrópico de maior porção da área, nota-se a importância da preservação dos ambientes costeiros, de fundamental importância à manutenção dos habitats naturais e à própria biodiversidade, além da proteção de pessoas e bens. As unidades geomorfológicas mapeadas encontram-se em ambiente de alta sensibilidade ambiental por serem resultantes da complexa interação de processos marinhos e eólicos, e essa sensibilidade faz com que esses ambientes sejam locais de excepcional importância na prestação de serviços ecossistêmicos, como, por exemplo, a defesa da orla contra a ação

direta de ondas de mar aberto e a consequente erosão sedimentar.

Assim, a ocupação antrópica desses ambientes (quando permitidas por órgão ambiental) deve ser realizada de maneira sustentável para que os impactos por ela causados não reduzam a resiliência do ambiente costeiro às alterações sazonais naturais e não o torne mais vulnerável; tais usos devem ser constantemente monitorados pelos órgãos responsáveis pela gestão costeira. Nesse sentido, o CAR, concebido originalmente para o registro das áreas ambientais de imóveis rurais com a finalidade de compor base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento, se torna um importante instrumento de gestão da zona costeira, pela geração e disponibilização de informações das localizações das APP's regularizadas e a consequente melhoria na fiscalização das ocupações antrópicas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte e à Algarvia Empreendimentos e Participações S.A. pelo apoio logístico de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL R. F. *As dunas do Polo Pitangui*. Laudo Técnico, Natal. 2008. 59 p.
- AMARO, V.E.; GOMES, L.R.S.; LIMA, F.G.F; SCUDELARI, A.C.; NEVES, C.F.; BUSMAN, D.V.; SANTOS, A.L.S. **Multitemporal Analysis of Coastal Erosion Based on Multisource Satellite Images, Ponta Negra Beach, Natal City, Northeastern Brazil**. *Marine Geodesy*. v. 38, n. 1, p. 1-25, 2015.
- BAGNOLD, R.A. **The physics of blown sand and desert dunes**. London, Chapman and Hall. 1941. 266 p.
- BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K.; BEZERRA, F. H. R.; TATUMI, S. H.; YEE, M.; GIANNINI, P. C. F. Geologia e geomorfologia do quaternário costeiro do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista do Instituto de Geociências – USP. Geol. USP Sér. Cient.**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 1-12, 2004.
- BIGARELLA, J. J., Eolian environments: Their characteristics, recognition, and importance. In: RIGBY, J. K.; HAMBLIN, W. K. **Recognition of Ancient Sedimentary Environments**, ed. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, n. 16, p. 12-62, 1972.
- BOORI, M. S.; AMARO, V. E.; FERREIRA, A. T. S. Coastal risk assessment and adaptation of the impact of sea-level rise, climate change and hazards: a RS and GIS based approach in APodi-Mossoro estuary, Northeast Brazil. **International Journal of Geographical Information Science** (Online), v. 1, p. 56-60, 2011.
- BRASIL. **Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984**. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, Diário Oficial da União. 1984.
- BRASIL. **Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988**. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências, Diário Oficial da União. 2012.
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências, Diário Oficial da União. 2012.
- CLAUDINO SALES, V. & PEULVAST, J. P. Dunes generations and ponds on the coast of Ceará, north-east Brazil. In: ALLISON, R. (Ed.), **Applied Geomorphology**. London: John Wiley e Sons. 2002. p. 421-440.
- COSTA, W.D. **Estudos hidrológicos de Natal-RN**. Natal, CONTEGE/CAERN, Natal. 1971. 224 p.
- CONGALTON, R. G.; ODERWALD, R. G.; MEAD, R. G. Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate statistical techniques. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 49, n. 12, p. 1671-1678, 1983.
- CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing Environment**, v. 37, p. 35-46, 1991.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 369, de 28 de março de 2006** - Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente-APP. 2006.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 341, de 25 de setembro de 2003**. Dispõe sobre critérios para a caracterização de atividades ou

empreendimentos turísticos sustentáveis como de interesse social para fins de ocupação de dunas originalmente desprovidas de vegetação, na Zona Costeira. 2003.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002.** Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. 2002.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986** - Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. 1986.

CUNHA E. M. S., SILVEIRA I.M, NOGUEIRA A. M. B., VILAÇA J. G. 1990. Análise ambiental do setor costeiro Maxaranguape – Touros/RN. In: Congresso brasileiro de geologia – CBG, 36, Natal, **Anais...** Natal, 1990, p. 770-782.

FERNANDES, R. F., AMARAL, R. F. Paisagem costeira do litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte (Brasil): evolução temporal e padrões espaciais dos campos de dunas móveis. **Revista Gestão Costeira Integrada.** v. 13, n. 1, p. 45-59, 2013.

FERREIRA, A. T. S.; AMARO, V. E.; SANTOS, M. S. T. Geodésia aplicada à integração de dados topográficos e batimétricos na caracterização de superfícies de praia. ISSN: 1808-0936. **RBC. Revista Brasileira de Cartografia.** v. 1, p. 153-170, 2014.

GIANNINI, P.C.F. **Sistemas Depositionais Eólicos no Quaternário Costeiro do Brasil.** 2007. 200 p. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

GIANNINI, P. C. F. ; ASSINE, M. L. ; BARBOSA, L. ; BARRETO, A. M. F. ; CLAUDINO-SALES, V. ; MAIA, L. P. ; MARTINHO, C. T. ; PEULVAST, J. ; SAWAKUCHI, A. O. ; TOMAZELLI, L. J. Dunas eólicas costeiras e interiores. In: Souza, C. R. G.; Suguio, K.; De Oliveira, P. E.; Oliveira, A. M. (Org.). **Quaternário do Brasil.** Ribeirão Preto, SP: Holos, Abequa, ANP, FAPESP, IG, UnG. cap. 11. 2005. p. 235-257.

GIANNINI, P. C. F. ; ASSINE, M. L. ; SAWAKUCHI, A. O. . Ambientes eólicos. In: Pedreira, A.J.; Aragão, M.A.N.F.; Magalhães, A.J.. (Org.). **Ambientes de Sedimentação Siliciclástica do Brasil.** São Paulo: Beca. 2008. p. 72-101.

GRIGIO, A. M.; AMARO, V. E.; VITAL, H.; DIODATO, M. A. A method for coastline evolution analysis using GIS and Remote Sensing - A case study from Guamaré city, northeast Brazil. **Journal of Coastal Research,** v. 42, p. 412-421, 2005. GRIGIO, A. M.; SOUTO, M. V. S.; CASTRO, A. F.; AMARO,

V. E. ; VITAL, H. Use of remote sensing and geographical information system in the determination of the natural and environmental vulnerability of the Municipal District of Guamaré - Rio Grande do Norte - Northeast of Brazil. **Journal of Coastal Research,** v. 39, p. 293-298, 2006.

HESP, P.A. Coastal sand dunes: form and function. Massey University. **CDNV Technical Bulletin,** v. 4, p. 28, 2000.

HESP, P.A.; DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G.; TOMAZELLI, L.J.; AYUP-ZOUAIN, R.N.; ESTEVES, L.S.; GRUBER, N.S.; TOLDO-JR, E.E.; TABAJARA, L.L.C.; CLEROT, L.C.P. Beach ridges, foredunes or transgressive dune fields? Definitions and an examination of the Torres to Tramandaí barrier system, Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências,** v. 77, n. 3, p. 493-508, 2005.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Informações obtidas da página do IBGE na internet.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em: 01 de junho de 2014.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). **Informações obtidas da página do INMET na internet.** Disponível em: <www.imet.gov.br>. Acessado em: 01 de janeiro de 2015.

KLEIN, A.H.F. Um método indireto para a determinação do estágio morfodinâmico de praias arenosas. In: CONGR. ASSOC. BRASIL. DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 6., 1997, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Abequa, 1997, p. 76-78.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics,** v. 33, p. 159-154, 1977.

LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W., CHIPAN, J. W. **Remote sensing and interpretation.** 5ed. Madison: Wiley, 2004. 763p.

MALTA, J. V., AMARAL, R. F. Experimento de Fluxo de Sedimentos em um Segmento de Campo de Dunas Eólicas Costeiras de Jenipabu - Litoral Oriental do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada** v. 13, n. 1, p. 61-78, 2013.

MICELI, B. S.; DIAS, F. M.; SEABRA, F. M.; SANTOS, P. R. A.; FERNANDES, Ma. C. Avaliação vertical de modelos digitais de elevação (MDEs) em diferentes configurações topográficas para médias e pequenas escalas. **Revista Brasileira de Cartografia.** v. 01, n. 63, p, 191-201, 2011.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações.** São Paulo: Editora Unesp. 2007. p. 477.

MONICO, J. F. G; PÓZ, A. P. D.; GALO, M.; SANTOS, M. C.

- D; OLIVEIRA, L. C. Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 15, n. 3, p. 469-483, 2009.
- MUEHE, D. Geomorfologia Costeira. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2001. p. 253-308.
- NEVES, C. F.; MUEHE, D. Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira. **Parcerias estratégicas**, n. 27, p. 217-296, 2008.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**, 2ed, Rio de Janeiro, RJ: IBGE. 1989. 422p.
- PEREIRA, B. R.; AMARO, V. E.; SILVA, D. R. V. Radar and optical hybrid images to improve geoenvironmental mapping in Rio Grande do Norte state, Brazil. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 149, p. 111-123, 2011.
- RICHARDS, J.A.; JIA, X. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. 4th ed. New York: Springer-Verlag. 2006. 439p.
- RIO GRANDE DO NORTE. **Lei Estadual nº 7.871, de 20 de julho de 2000**. Dispõe sobre o Zoneamento Ecológico-Econômico do Litoral Oriental do Rio Grande do Norte e dá outras providências. 2000.
- SANTOS, M. S. T.; AMARO, V. E. Dinâmica sazonal de processos costeiros e estuarinos em sistema de praias arenosas e ilhas barreira no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, p. 151-162, 2013.
- SANTOS, M. S. T.; AMARO, V. E.; SOUTO, M. V. S. . Metodologia geodésica para levantamento de Linha de Costa e Modelagem Digital de Elevação de praias arenosas em estudos de precisão de geomorfologia e dinâmica costeira. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63, p. 663-681, 2011.
- SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, methods and applications**. Walter de Gruyter, N. York, 1993. 531 p.
- SILVA, D. R. V.; AMARO, V. E. Integração entre dados ópticos e radar (SRTM) para a caracterização geoambiental da costa setentrional do Rio Grande do Norte. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 2, p. 111-123, 2008.
- SILVA, D. R. V.; AMARO, V. E.; SOUTO, M. V. S.; NASCIMENTO, M. C. do; PEREIRA, B. R. Geomorfologia de uma área com alta sensibilidade ambiental na Bacia Potiguar (NE do Brasil). **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 10, p. 545-566, 2010.
- SMC-BRASIL (Sistema de Modelado Costero - Brasil) **Informações obtidas da página do SMC-BRASIL na internet**. Disponível em: <<http://smcbrasil.ihcantabria.com/descargas>>. Acessado em: 01 de abril de 2014.
- VITAL, H. Rio Grande do Norte. In: MUEHE, D. (Org.). **Erosão e progradação no litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, MMA, 2006. p. 155-172.
- WRIGHT, L. D., SHORT, A. D. & GREEN, M. O. Short term changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones: An empirical predictive model. **Marine Geology**, v. 62, p. 339-3, 1985.