

DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (APA) DO DELTA DO PARNAÍBA UTILIZANDO DADOS MORFOMÉTRICOS E IMAGENS DO SENSOR ASTER

**Thiago Avelar Chaves¹, Verônica Moreira Ramos¹,
Osmar Abílio de Carvalho Júnior¹, Éder de Souza Martins²,
Roberto Arnaldo Trancoso Gomes¹, Renato Fontes Guimarães¹**

¹Universidade de Brasília - UnB/GEA/LSIE Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte - 70910-900, Brasília, DF, Brasil.

{thiagochvs@gmail.com; vmramos, robertogomes, osmarjr, renatofg@unb.br}

²EMBRAPA Cerrados, BR-020, km 18, Planaltina, DF. CEP: 73310-970.

Caixa postal: 08223.

{eder@cpac.embrapa.br}

Resumo - O presente trabalho tem como objetivo mapear as unidades geomorfológicas da Área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba a partir de análise morfométrica e informações adquiridas por meio do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. A metodologia adotada no trabalho foi dividida em quatro etapas: a) tratamento dos dados morfométricos; b) integração dos dados por meio de Composição Colorida; c) classificação espectral das dunas móveis e dunas fixas a partir de imagens ASTER; e d) delimitação das faixas de praia. A partir desse processamento foi possível realizar o mapeamento das unidades geomorfológicas da área de estudo.

Palavras-Chave: Relevo; Modelo Digital de Elevação; Classificação Espectral; ASTER

Abstract - This paper aims to map geomorphological units of the Environmental Protection Area of Delta from morphometric analysis and information acquired by digital processing of remote sensing images. The methodology used in the work was divided into five steps: a) treatment of morphometric data, b) data integration from Color Composite; c) spectral classification of the dunes and mobile dunes from ASTER images, e d) delineation of stripe beach. As a result it was generated a geomorphological units map of the study area.

Key-words: Landform; Digital Elevation Model; Spectral Classification; ASTER.

INTRODUÇÃO

O zoneamento ambiental é um mecanismo de planejamento usado para orientar e avaliar o uso da Terra considerando as estratégias concebidas dentro da dinâmica de ocupação. De forma geral, o zoneamento tem como propósito a delimitação de zonas com características semelhantes, ou seja, que compõem um mesmo sistema produtivo ou ambiental. Além disso, objetiva adequar o uso da terra de modo a produzir o menor impacto possível considerando as características e aptidões de cada zona. Assim, o zoneamento ambiental torna-se um instrumento indispensável para conciliar os imperativos do desenvolvimento econômico com a necessidade de se proteger e melhorar a qualidade do ambiente. Porém, como destacado por Ab'Saber (1989) a realização de um zoneamento exige métodos, reflexão e estratégias próprias. Estabelecer as bases de um zoneamento em um determinado espaço geográfico corresponde a realizar estudos para identificar a vocação de todos os subespaços

e efetuar o levantamento de suas potencialidades considerando um critério ecodesenvolvimentista, ou seja, demanda uma reflexão orientada para uma abordagem integrada do ambiente.

As metodologias para a definição de ambientes ou zonas homólogas utilizam uma abordagem integrada dos fatores geo-ambientais. O arcabouço físico ambiental, considerando a sua dinâmica e evolução, permite estabelecer critérios para definir as atividades de uso, manejo e gestão. Assim, a geomorfologia apresenta um caráter fundamental e integrador dos atributos ambientais em diversos modelos. Bertrand (1968) propôs uma taxonomia das paisagens considerando uma dominância dos fatores físicos e Tricart (1977) estabelece sistemas ambientais a partir do princípio da ecodinâmica.

Com o advento de métodos computacionais houve um aprimoramento dos procedimentos que descrevem os fenômenos ocorrentes na superfície terrestre, aumentando o seu emprego nas diversas áreas do conhecimento ambiental (Moore et al., 1991). Na delimitação e descrição das unidades de paisagem normalmente são utilizados procedimentos e técnicas de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas (SIG) (Crepani et al, 2001; Panquestor et al, 2002; Hermuche et al, 2003; Oliveira et al. 2008). Normalmente, os procedimentos adotados consistem de levantamento de dados, organização de bases cartográficas, elaboração de análises temáticas e integração destas informações. Neste propósito novas técnicas e procedimentos são propostos para providenciar alternativas para o mapeamento geomorfológico, além da forma tradicional proveniente do trabalho de campo e fotointerpretação.

O presente trabalho visa realizar o mapeamento das unidades geomorfológicas da Área de Proteção Ambiental (APA) do Delta do Parnaíba a partir de parâmetros morfométricos e informações provenientes da interpretação de imagens de satélite. As classes identificadas são balizadas por trabalho de campo e as informações descritas pelos trabalhos desenvolvidos por Calvacanti (1996; 2002; 2004).

ÁREA DE ESTUDO

A Área de Proteção Ambiental (APA) do Delta do Parnaíba é uma unidade de conservação costeira federal, que possui uma porção marítima e outra continental e corresponde a aproximadamente 3.031 Km², englobando áreas dos estados do Ceará, Piauí e Maranhão (**Figura 1**).

O clima da área é caracterizado por apresentar uma pluviometria definida no Regime Equatorial Marítimo (Aguiar, 2004), com duas estações bem diferenciadas, sendo que a intensificação das chuvas ocorre de fevereiro a maio. O total médio das precipitações anuais situa-se em torno de 1.150 mm e apresenta grande variabilidade interanual. A temperatura média anual fica em torno de 29° C e é amenizada pela ação constante dos ventos de NE, que é intensa ao longo de todo o ano (Cavalcanti, 1996).

A APA está no contexto geológico da Província Borborema (Brito Neves et al., 2000), dividido nos seguintes conjuntos litoestratigráficos: (a) embasamento cristalino Pré-Cambriano; (b) sedimentos Terciários da Formação Barreiras; e (c) sedimentos Quaternários (**Figura 2**). O embasamento é composto por gnaisses e migmatitos do Complexo Granja, formados durante o

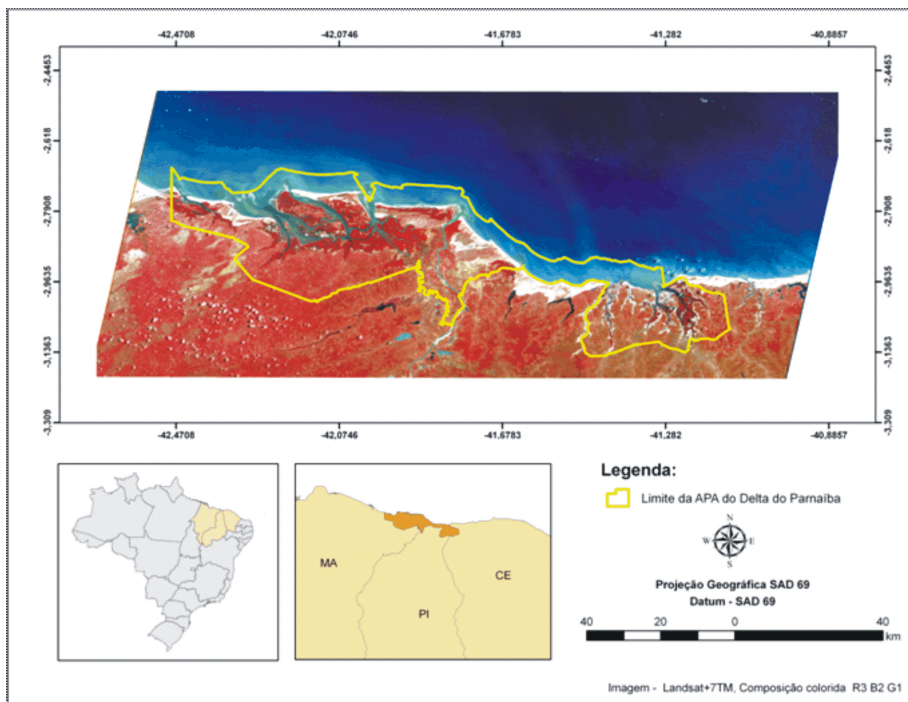


Figura 1 – Localização da Área de Estudo.

Paleoproterozóico, sobrepostos por intrusões da suíte magmática Chaval e por supracrustais vulcano-sedimentares do Grupo Martinópole do Neoproterozóico. As rochas do Complexo Granja são tanto orto como paraderivadas e ocorrem em pequenos resíduos em contato tectônico ou intrusivo com as rochas mais jovens (Santos, 1999; Santos et al., 2008). Nas faixas de ocorrência do embasamento são mais abundantes granodioritos e quartzito-sienitos tardi-orogênicos da suíte magmática Chaval (Correia Filho, 2006; Jardim de Sá, 1994). O Grupo Martinópole ocorre na APA no estado do CE, sendo composta por quartzito e metacalcário, intercalados com rochas metavulcânicas (Formação

São Joaquim), seguidos por uma seqüência metapelitocarbonática (formações Covão e Santa Terezinha) (Baptista e Cunha, 1983; Oliveira, 1992; Parente et al., 2004). Os depósitos de leques aluviais da Formação Barreiras, formados por arenitos e conglomerados com intercalações de siltitos e argilitos, ocupam uma faixa paralela à costa e estão associados a relevos tabulares, designados regionalmente de tabuleiros (Cavalcante et al., 1983; CEPRO, 1996; Correia Filho, 2006). Os sedimentos Quaternários estão representados por depósitos eólicos na forma de paleodunas e dunas constituídas de areias quartzosas e quartzo feldspáticas homogêneas, cobrindo ou não os tabuleiros, e por depósitos em leques aluviais e terraços marinhos (Correia Filho, 2006).

Considerando os tipos de solos da área, observa-se a presença dos Neossolos, que se originam de sedimentos fluviais e marinhos depositados na planície litorânea e ocorrem principalmente nas praias e dunas. Os Gleissolos ocorrem associados aos ambientes de mangues presentes nas áreas de inundação próximas à costa na zona de influência da maré. As associações de Neossolos com Planossolo, que resultam das deposições fluviais recentes, e ocorrem geralmente nas baixadas fluviais ao longo dos cursos d'água. Por último, observam-se as associações de Neossolos, Argissolos e Latossolos, que se desenvolvem a partir de materiais de origem sedimentar e, de forma geral, são encontrados nas áreas de tabuleiros (Cavalcanti, 2002; 2004).

Os tipos de vegetação apresentam características próprias em decorrência das variações da composição edáfica e da profundidade do lençol freático. Na área ocorrem as seguintes unidades fitogeográficas: Vegetação pioneira de dunas, disposta de forma irregular e descontínua ao longo da linha de costa; Vege-

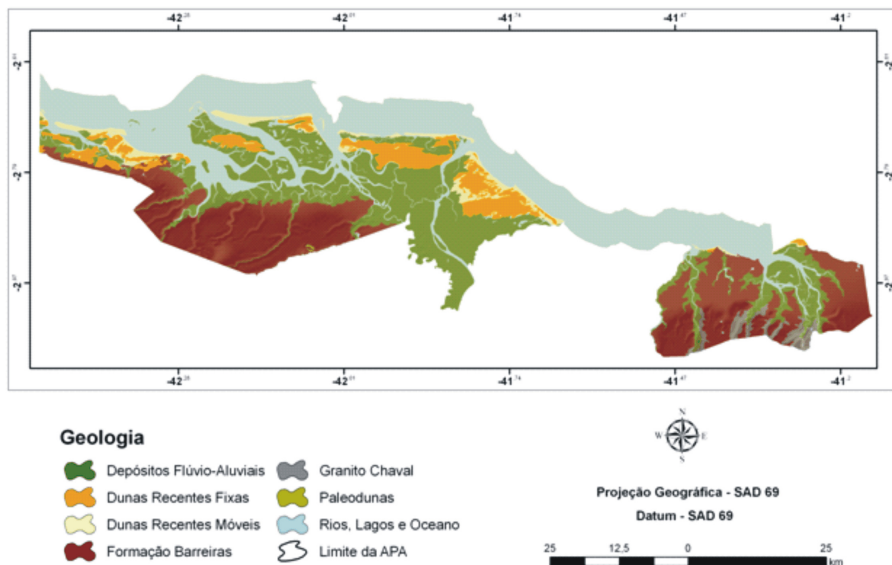


Figura 2 – Mapa Geológico da Área de Estudo (MMA, 2002).

tação de Tabuleiros, que é constituída por espécies de mata seca, caatinga, cerrado e cerradão; Mangues, dispostos ao longo da APA próximo aos cursos de água; Restinga; Ambientes de Salgado ou Apicum; e Caatinga, que ocorre principalmente na região de Chaval - CE. O processo de ocupação humana é representado por culturas, pastagens e núcleos urbanos (Cavalcanti, 2004).

METODOLOGIA

Os ambientes costeiros, por se situarem na interface do oceano e continente, recebem fluxos de matéria e energia que vão influenciar, na origem, evolução e configuração do relevo (Fontes et al., 2007). Portanto, a definição de unidades

geomorfológicas nos ambientes costeiros torna-se complexa, sobretudo nas regiões tropicais úmidas dominados por macromaré (Boulhosa & Souza Filho, 2005).

O presente trabalho utiliza uma metodologia que integra dados provenientes de imagens do sensor *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) e dos atributos de terreno oriundos do Modelo Digital de Terreno (MDT). A metodologia pode ser subdividida nas seguintes etapas: (a) elaboração e tratamento do MDT e dos atributos de terreno; (b) classificação e interpretação das áreas de dunas e praias utilizando as imagens ASTER; (c) integração e classificação das unidades geomorfológicas.

ELABORAÇÃO E TRATAMENTO DO MDT E DOS ATRIBUTOS DE TERRENO

Para a confecção do MDT da APA do Delta do Parnaíba foram utilizadas quatro cartas topográficas cedidas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) na escala 1:100.000, contendo: curvas de nível, pontos cotados, rede de drenagem e lagos. As cartas foram editadas para corrigir erros como: curvas de nível que não tinham continuidade ou com valores errôneos; pontos cotados com valor não correspondente à curva de nível; rios com fluxos mal digitalizados ou não encaixados à montante; sobreposição de linhas sobre os polígonos que representavam lagos.

Após a correção das cartas, estas foram unidas e interpoladas. Na interpolação foi utilizado o algoritmo TOPOGRID constante no programa ArcMap (Hutchinson, 1989). O MDT foi gerado com resolução espacial de 20

metros (**Figura 3**) e a partir dele foram gerados os atributos de terreno: declividade (**Figura 4**) e fluxo acumulado (**Figura 5**). Na elaboração destes atributos utilizou-se uma máscara sobre a região oceânica para eliminar valores errôneos.

Na interpretação dos compartimentos do relevo foi utilizada a interpretação visual sobre composições coloridas formadas pelos atributos de terreno (Leal et al, 2003; Hermuche et al, 2001; Mühlethaler et al, 2005).

IDENTIFICAÇÃO DAS REGIÕES DE DUNAS E PRAIA A PARTIR DA INTERPRETAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS ASTER

Neste trabalho foram utilizadas imagens do sensor ASTER proveniente de um esforço cooperativo entre a NASA – Earth Observing System (EOS), o Japan’s Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) e o Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC). Esse sensor encontra-se a bordo satélite TERRA (ou EOS-AM) que opera numa órbita polar e síncrona com o Sol, com inclinação de aproximadamente 98,2 graus e altitude média de 705 km. A imagem ASTER consiste de três subsistemas: (a) visível e infravermelho próximo (VNIR – 0,51 m - 0,91m), constituído por 3 bandas espectrais com resolução de 15 metros, (b) infravermelho ondas curtas (SWIR – 1,61m - 2,51m), com 6 bandas espectrais de resolução espacial de 30 metros, e (c) infravermelho termal (TIR), com 5 bandas espectrais de resolução espacial de 90 metros (Abrams, 2000; Fujisada, 1998; Yamaguchi et al, 1998).

As nove imagens utilizadas (VNIR e SWIR) foram adquiridas já corrigidas do efeito atmosférico, correspondendo aos produtos do sensor ASTER referente

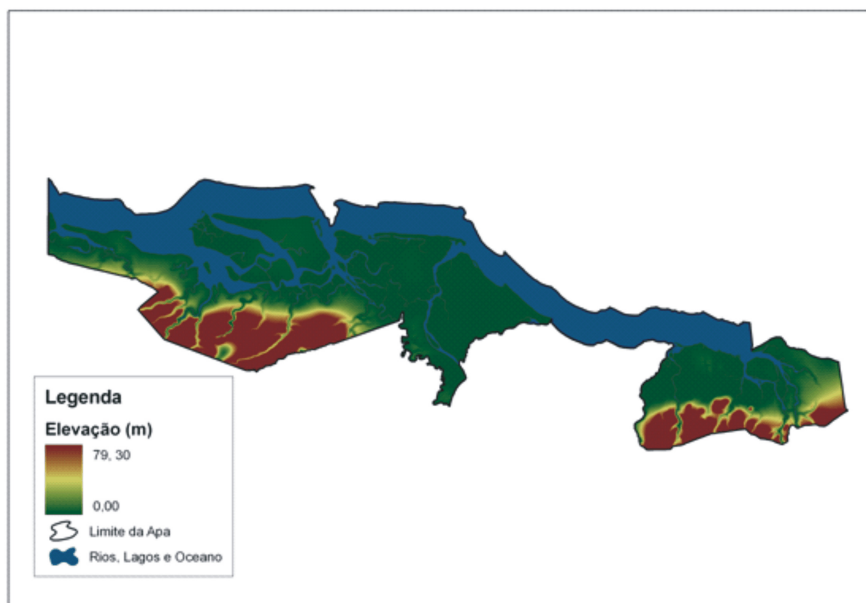


Figura 3: Modelo Digital de Terreno da área de estudo.

à especificação AST07 (JPL, 2001; Thome et al., 1998). A correção atmosférica remove os efeitos devido às mudanças de geometria satélite – sol e das condições atmosféricas.

Para abranger toda a área de estudo, foi realizado um mosaico com três imagens sendo uma do ano de 2001 e duas do ano de 2000. As resoluções espaciais entre as bandas dos sensores VNIR e SWIR foram compatibilizadas por meio da conversão da SWIR de 30 metros para 15 metros. As imagens foram recortadas conforme o limite da APA do Delta do Parnaíba.

O emprego das imagens ASTER teve como propósito específico compartimentar as áreas com cobertura de dunas e praias. Estas áreas

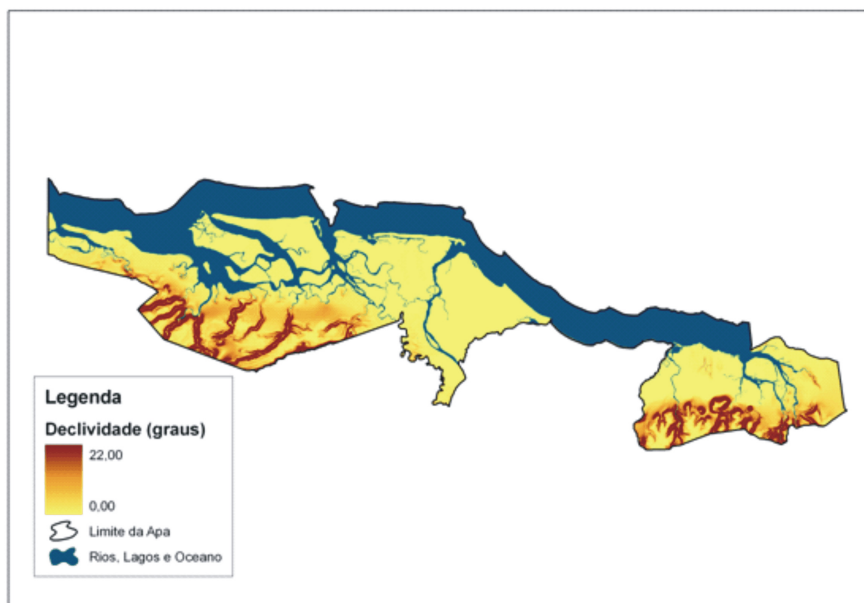


Figura 4: Mapa de declividade da área de estudo.

apresentam os seguintes comportamentos espectrais dominantes: (a) areia, que por ser constituída predominantemente por grãos de quartzo possui uma alta reflectância em todas as bandas do VNIR e SWIR, (b) vegetação fotossinteticamente ativa, como as dunas fixas que apresentam cobertura vegetal, e (c) água, devido à presença de lagoas interdunas. As áreas com comportamento espectral de areia ocorrem apenas nas áreas de dunas móveis e praia, estando inseridas obrigatoriamente dentro da classe desejada. No entanto, as classes com vegetação e água compõem outros alvos que não são de interesse, necessitando de uma interpretação visual para melhor definição.

Desta forma, no presente trabalho a delimitação das dunas e praias foram realizadas a partir do classificador espectral Spectral Angle Mapper (SAM)

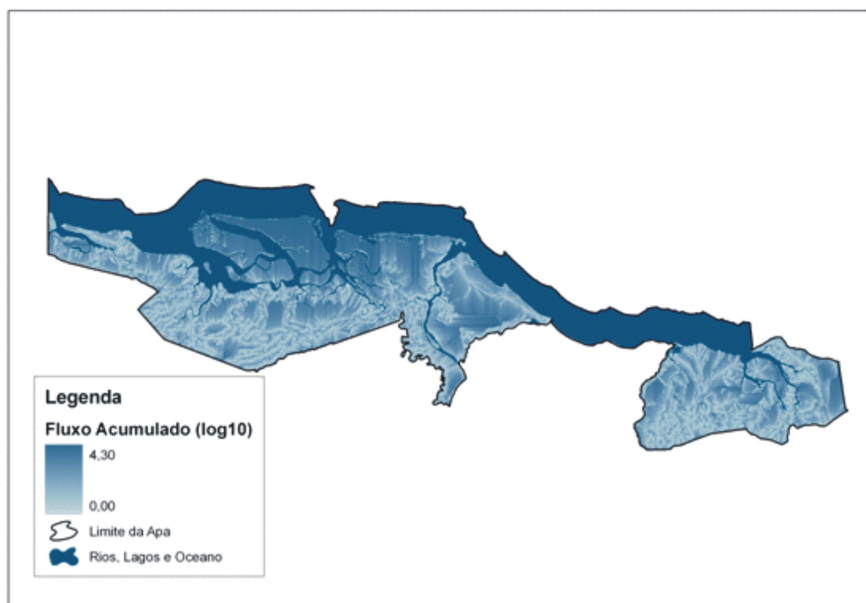


Figura 5: Mapa do fluxo acumulado da área de estudo.

seguida por interpretação visual. O SAM consiste em um índice de similaridade entre os espectros da imagem de entrada com espectros de referência sendo expresso em radianos, onde quanto menor o ângulo α , maior é a similaridade entre as curvas (Kruse et al., 1993). A partir das áreas demarcadas pelo método SAM foi realizado uma interpretação visual complementar, considerando a composição colorida das três imagens do VNIR. Esta interpretação visual obteve um melhor ajuste das áreas relativas às dunas fixas com cobertura vegetal e de lagoas interdunas, considerando os elementos básicos das imagens, como: forma, tamanho, tonalidade/cor, padrão, textura, localização e relação de aspectos (Veneziani & Anjos, 1982).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

RESULTADO DA ANÁLISE DOS ATRIBUTOS DE TERRENO

A técnica de composição colorida dos atributos de terreno possibilitou realçar os principais compartimentos geomorfológicos da área de estudo. Dentre as composições coloridas realizadas a que obteve o melhor realce foi à composta por altimetria (canal vermelho); declividade (canal verde) e fluxo acumulado (canal azul) (**Figura 6**). Nesta composição colorida, as tonalidades vermelhas representam os tabuleiros litorâneos, que se caracterizam por terem as maiores altitudes na área de estudo. As áreas com tonalidades verdes correspondem aos ambientes de maior declividade, provenientes do trabalho erosivo das águas fluviais ao longo dos canais de drenagem. As tonalidades azuis representam a área de acumulação flúvio-marinha e o oceano.

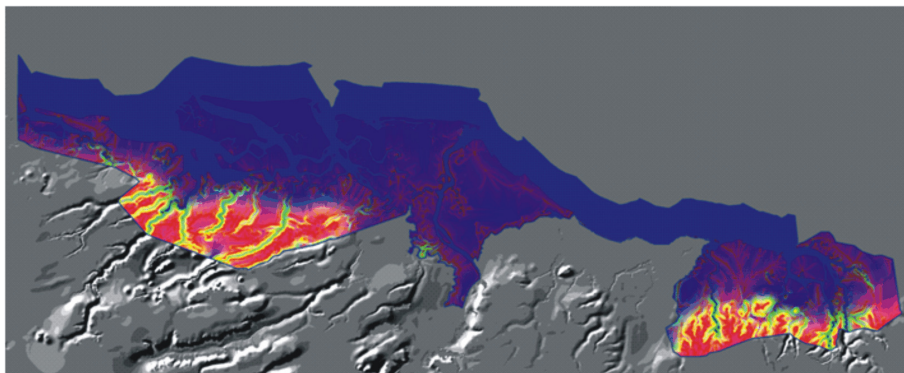


Figura 6. Composição colorida composta pelos seguintes atributos de terreno: altimetria (canal vermelho), declividade (canal verde) e fluxo acumulado (canal azul).

RESULTADO DO PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS ASTER

O tratamento das imagens ASTER permitiu identificar as regiões de dunas e praias da área de estudo. O emprego do classificador SAM permitiu definir com precisão as áreas compostas por areia, referente às dunas móveis e de praia. As dunas fixas que apresentam uma maior presença de mistura espectral em decorrência da presença de vegetação pioneira e lagos interdunas foram demarcadas com o auxílio de interpretação visual em tela. A **Figura 7** mostra a imagem referente à classe de dunas e praia.

INTEGRAÇÃO DOS DADOS

Os atributos de terreno e imagens ASTER classificadas foram integradas para a compartimentação do relevo. A partir das imagens ASTER pode-se identificar os limites das dunas e praias. Os tabuleiros costeiros presentes sobre a Formação



Figura 7. Imagem referente às regiões de dunas e praias na APA do Delta do Parnaíba.

Barreiras caracterizam-se por ter valores de MDT superiores a 10 metros assim como os Maciços Residuais dos Granitos de Chaval que foram separados devido ao comportamento espectral distinto. As declividades são mais elevadas nas bordas dos tabuleiros costeiros e ao longo das incisões fluviais. Nas áreas de baixa altitude ocorrem as planícies: fluvial e flúvio-marinha. A distinção entre estas é facilmente detectada por interpretação visual da imagem ASTER. Desta forma, foram definidas cinco unidades geomorfológicas na área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba: (a) faixa de praia e dunas; (b) planície flúvio-marinha; (c) planície fluvial; (d) tabuleiros costeiros; e (e) Maciços Residuais dos Granitos de Chaval (**Figura 8**).

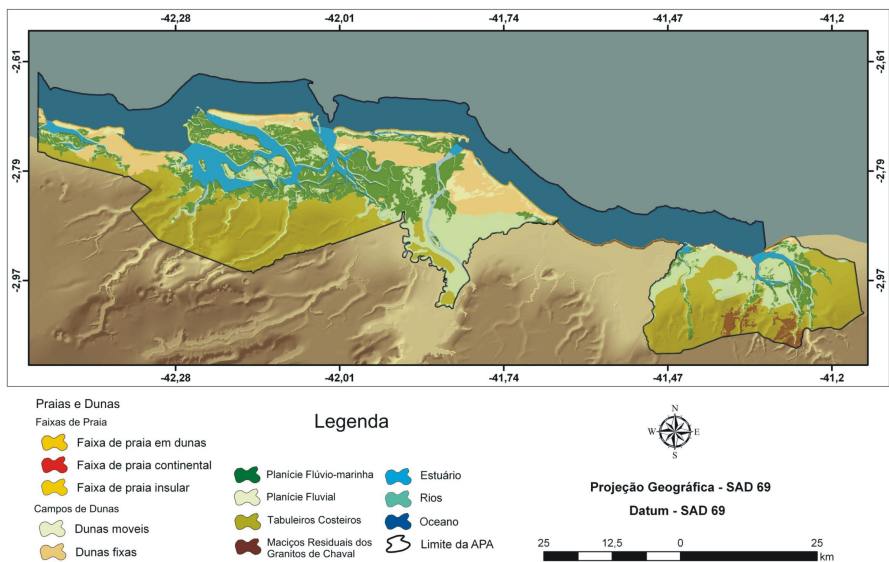


Figura 8: Unidades Geomorfológicas da APA do Delta do Parnaíba

Os sedimentos de acumulação marinha foram subdivididos nos modelados de praia (faixa de praia continental e insular) e de dunas (dunas móveis e dunas fixas). A faixa de praia é composta por sedimentos arenosos transportados pelas correntes costeiras locais (Cavalcanti, 2002) (**Figura 9a**). As dunas são feições geomorfológicas formadas a partir da deflação eólica, que transportam os sedimentos arenosos depositando-os ao longo das zonas costeiras. Apresentam-se dispostas de forma irregular e descontínua ao longo da linha de costa, conforme sua interação com os fatores físicos e biológicos, como a presença de cursos d'água ou ausência de cobertura vegetal (Cavalcanti, 1996). As dunas móveis caracterizam-se pela inexistência de cobertura vegetal ou a presença de espécies pioneiras de pequeno porte, o que facilita o transporte eólico (**Figura 9b**). O comportamento migratório das dunas tem implicações como o assoreamento de corpos d'água e danos as construções civis (estradas, casa, entre outros) (Cavalcanti & Viadana, 2007). As dunas fixas (**Figura 9c**) são estabilizadas pela presença de vegetação que limitam a manifestação da deflação eólica e, conseqüentemente, permite a fixação dos sedimentos.

A Planície Flúvio-Marinha consiste em uma área de transição dos ambientes marinho com o de água doce, possui uma grande importância ecológica por causa do seu poder de estabilização e regulação dos ambientes costeiros (Cavalcanti, 2004). As planícies de acumulação flúvio-marinha caracterizam-se como relevo plano, recortado pela desembocadura de cursos d'água e com depósitos recentes de natureza flúvio-marinha e da deflação eólica (**Figura 9d**). O intenso processo de deposição de aluviões ao longo dos canais e os períodos de oscilação das marés formam um conjunto de fatores que provocam

alterações no acúmulo de sedimentos e no fluxo das águas que condiciona a distribuição da vegetação (Cavalcanti, 2002).

A planície fluvial compreende aquelas superfícies adjacente aos rios, predominantemente planas, resultantes da acumulação fluvial, contendo várzeas e terraços onde há acúmulo de sedimentos (Cavalcanti, 2004) (**Figura 9e**). Esse compartimento situa-se entre a planície de acumulação fluviomarinha e os Tabuleiros Costeiros. Mostra-se, geralmente com fundos chatos, vertentes côncavas e convexas de declividade fraca a média. São compostas por planícies aluvionais e coluvionais e estão sujeitas a inundações periódicas com transbordamento do canal do rio. Nessa superfície os vales estão associados a processos erosivos das seqüências da Formação Barreiras.

Os tabuleiros costeiros são constituídos pelas coberturas cenozóicas da Formação Barreiras compostos por sedimentos arenosos grosseiros, argilas de diferentes cores e arenitos grosseiros e conglomerático, com espessura variada que recobrem principalmente sedimentos da bacia do Parnaíba (Cavalcanti & Viadana, 2007). Esses topos tabulares apresentam interflúvios planos, geralmente entalhados por canais de margens com vertentes suaves.

Os Maciços Residuais dos Granitos de Chaval representam afloramentos do embasamento cristalino, provavelmente expostos em afloramento durante reativações cretáceas de falhas pré-cambrianas e pelas erosões consecutivas (Sales & Peulvast, 2007). Destacam na paisagem pela forte linha de ruptura, geralmente constituídas por rochas mais resistentes à erosão (**Figura 9f**).



Figura 9- (a) Faixa de praia em Ilha Grande – PI; (b) Dunas móveis, Barra do Feijão Bravo (MA); (c) Dunas fixas, Pequenos Lençóis (MA); (d) Planície de acumulação fluviomarinha, Ilha Grande do Paulino (MA); (e) Planície Fluvial – Povoado dos Tatus (MA), Maciços residuais dos granitos de Chaval (CE).

CONCLUSÕES

Pode-se constatar que as metodologias que associam a análise de dados morfométricos a interpretação de imagens de sensores orbitais a partir da utilização das ferramentas de SIG tornam-se fundamentais nos estudos de análise ambiental, sobretudo para delimitação e mapeamento de unidades geomorfológicas em diversos tipos de ambientes. As metodologias de análise ambiental, que utilizam tecnologias baseadas nos Sistemas de Informações Geográficas facilitam a tarefa de integração e espacialização das informações e permitem a redução da subjetividade na análise e nos resultados.

Desta forma, as informações morfométricas acopladas a imagens de satélite possibilitaram identificar na APA do Delta do Parnaíba, cinco unidades geomorfológicas: faixa de praia e dunas; planície flúvio-marinha; planície fluvial; tabuleiros costeiros; e Maciços Residuais dos Granitos de Chaval. Essas unidades foram delimitadas de forma precisa a partir de valores morfométricos auxiliados por imagens do sensor ASTER e visitas em campo. A metodologia aplicada produziu um mapa de unidades geomorfológicas que poderá ser utilizado para o planejamento do uso e ocupação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de produtividade dos autores Osmar Abílio de Carvalho Júnior, Renato Fontes Guimarães, Roberto Arnaldo Trancoso Gomes e Éder de Souza Martins, ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) que financiou o trabalho de campo. Agradecem também aos membros do Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais (LSIE) da UnB pelas críticas e sugestões realizadas durante a elaboração do artigo.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. (1989). Zoneamento Ecológico da Amazônia: questões de escala e método. *Revista do Instituto de Estudos Avançados, São Paulo, USP*, 3(5): 4-20.
- ABRAMS, M. (2000). The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER): data products for the high spatial resolution imager on NASA's Terra platform. *International Journal of Remote Sensing*, 21(5): 847 – 859.
- BOARDMAN, J.W. & KRUSE, F.A. (1994). Automated spectral analysis: A geologic example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains, Nevada. In: ERIM – Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, 10., Ann Arbor, MI. Proceedings, Ann Arbor: Environmental Research Institute of Michigan, 1: 407–418.
- BOULHOSA, M. B. M.; FILHO, P. W. M. S. (2005). Uso de imagens SRTM e Landsat ETM+7 para o mapeamento geomorfológico dos ambientes costeiros do nordeste do Pará. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., Goiânia, GO. Anais XII SBSR, São José dos Campos: INPE, p. 1745-1747.
- BRITO NEVES, B.B.; SANTOS, E.J.; VAN SCHMUS, W.R. (2000). Tectonic history of the Borborema Province, northeastern Brazil. In: CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D.A. (Eds.), *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro, 31th International Geological Congress, p.151-182.
- CAVALCANTE, J.C.; FERREIRA, C. A.; ARMESTO, R.C.G.; MEDEIROS, M.F.; RAMALHO, R.; BRAUN, O.P.G.; BAPTISTA, M.B.; CUNHA, H.C.S. (1983). Mapa Geológico do Estado do Ceará (1:500.000). Brasília, DNPM, 1 carta.
- CAVALCANTI, A. P. B. & VIADANA, A. G. (2007). Estudo das unidades paisagísticas costeiras do estado do Piauí: potencialidades e limitações antropo-naturais. *Revista Climatologia e Estudos da Paisagem*. Rio Claro, 2 (1): 110-127.

- CAVALCANTI, A. P. B. (1996). Caracterização e análise das unidades geoambientais na planície deltaica do rio Parnaíba / PI. Dissertação de mestrado. Rio Claro: UNESP / IGCE. 120p.
- CAVALCANTI, A. P. B. (2002). Impactos e condições ambientais da zona costeira do Estado do Piauí. IN: Do natural, do Social e de suas Interações: visões geográficas, GERARDI, L. H. O.; MENDES, I.A. (Orgs.). Rio Claro: Programa de Pós-Graduação em Geografia UNESP/Associação de Geografia Teorética AGETEO, 59-78.
- CAVALCANTI, A. P. B. (2004). Análise integrada das unidades paisagísticas na planície deltaica do rio Parnaíba - Piauí/Maranhão. Mercator - Revista de Geografia da UFC, 3(6): 105-118.
- CEPRO, (1996). Macrozoneamento costeiros do estado do Piauí. Fundação CEPRO, Fundação Rio Parnaíba. Teresina, PI. 221p.
- CHRISTOFOLETTI, A. (2001). Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento. In: GUERRA, A.J. T. & CUNHA, S. B. (Org.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p 415-440.
- CORREIA FILHO, F. L. (org.) (2006). Mapa geológico do estado do Piauí, escala 1:1.000.000. Programa Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil, Subprograma Mapas Geológicos Estaduais, CPRM, 1 carta.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L. G.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. (2001). Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial. São José dos Campos: INPE, 80p. INPE /8454/RPQ/722.
- CRISTOFOLETTI, A. (1979) Análise de sistema em Geografia. Editora Hucitec, São Paulo, 1979.

- DEUS, M. S. M.; SAMPAIO, V. S. B.; RODRIGUES, S. M. C. B.; ANDRADE, V. C. (2003). Estrutura da Vegetação Lenhosa de Três Áreas de Manguezal do Piauí com Diferentes Históricos de Antropização. In: Brasil Florestal, nº78. p. 53-60.
- DIETRICH, W. E., WILSON, C. J., MONTGOMERY, D. R., MCKEAN, J. (1993). Analysis of Erosion Thresholds, Channel Networks and Landscape Morphology Using a Digital Terrain Model. *Journal of Geology*, 101: 259-278.
- FERREIRA, I. L.; SOUZA, L. H. F.; RODRIGUES, S. C. (2007). Estudos Geomorfológicos em Áreas Amostrais da Bacia do Rio Araguari – MG: Destaque para a Importância da Cartografia Geomorfológica. *Espaço & Geografia*, 10 (1): 143-171.
- FONTES, A. L.; CORREIA, A. L. F.; COSTA, J. J.; SANTANA; L. B. (2007) Caracterização Geiambiental da “Ilha dos Coqueiros” e Morfodinâmica das Praias Arenosas Adjacentes: Contribuição ao Ordenamento Territorial dos Municípios Costeiros do Estado de Sergipe. In: XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, p. 95-115.
- FUJISADA, H.; SAKUMA, F.; ONO, A.; KUDOH, M. (1998) Design and pre-flight performance of ASTER instrument protoflight model. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36 (4): 1152–1160.
- HERMUCHE, P. M.; ANDRADE, A. C.; GUIMARÃES, R. F.; LEAL, L. R.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; MARTINS, E. S. (2003). Compartimentação geomorfológica em escala regional da bacia do rio Paranã. *Revista do Departamento de Geografia (GeoUERJ)*, Rio de Janeiro. v 1, p. 372-381.
- HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, R. F. CARVALHO, A. P. F.; MARTINS, E. S.; DRUCK, S.; CAVALHO JÚNIOR, O. A.; SANTOS, N. B. F.; REATTO, A. (2002). Morfometria como Suporte para Elaboração de Mapas Pedológicos: I. Bacis Hidrográficas Assimétricas. *Documentos. Embrapa Cerrados*, v. 68, p.1-25.

- HUTCHINSON, M. F. (1989) A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, 106, 211-232.
- JARDIM DE SÁ, E. F. (1994). A Faixa Seridó (Província Borborema, NE Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Pan-Africana. Brasília, Universidade de Brasília, Tese de Doutorado, 803 p.
- JET PROPULSION LABORATORY (JPL). 2001. ASTER higher-level product user guide, JPL D-20062, 80 p.
- KRUSE, F. A.; LEFKOFF, A. B.; BOARDMAN, J. W.; HEIDBRECHT, K. B.; SHAPIRO, A. T.; BARLOON, P. J.; GOETZ, A. F. H. (1993) The Spectral Image Processing System (SIPS) – Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data. *Remote Sensing of Environment*, 44: 145-163.
- LEAL, L. R.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; ANDRADE, A. C.; PANQUESTOR, E. K.; RAMOS, V. M.; MARTINS, E. S. (2003). Definição de unidades geomorfológicas a partir de dados morfométricos na Bacia do Rio Grande (BA). In: *Anais XI SBSR*, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 de abril de 2003. INPE, p. 2055-2062.
- MOORE, I. D.; O'LOUGHLIN, E. M.; BURCH, G. J. (1998) A counter-based topographic model for hydrological and ecological applications. *Earth Surface and Processes and Landforms*, 13: 305 - 320.
- MÜHLETHALER, B.; RAMOS, V. M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; BETTIOL, G. M.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; REATTO, A. (2005). Avaliação do uso da morfometria como suporte para a elaboração de mapa pedológico no Ribeirão de Pedreira – DF. In: *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, 16-21 de abril. INPE, p. 3167-3174.
- OLIVEIRA, D.C. (1992). Geologia do Graben de Martinópolis, área de Campanário/Paula Pessoa (Granja - CE), implicações na evolução litoestratigráfica e tectono-metamórfica do Noroeste do Ceará. *Revista Brasileira de Geociências*, 22: 143-156.

- PANQUESTOR, E. K.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; LEAL, L. R.; ANDRADE, A. C.; MARTINS, E. S. & GUIMARÃES, R. F. (2002). Associação do processamento digital de imagens ao uso de parâmetros morfométricos na definição de unidades de paisagem da bacia do rio Corrente (BA). *Espaço e Geografia*, 5(1): 87-99.
- PANQUESTOR, E. K.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F.; MARTINS, E. S.; PANQUESTOR, E. K. (2004). Aplicação de Indicadores Quantitativos na Definição de Unidades de Paisagem e Uso da Terra na Bacia do Rio Corrente – BA. In: Encontro Anual da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente, Indaiatuba (SP). CD-ROM do II Encontro da ANPPAS. Campinas: ANPPAS, p.1-16.
- PARENTE, C.V.; SILVA FILHO, W.F.; ALMEIDA, A.R. (2004). Bacias do estágio de transição do domínio setentrional da Província Borborema. In: Mantesso Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R., Brito Neves, B.B. (Org.), *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Editora Beca, p. 525-536.
- PONZONI, F. J. (2001) Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P. R., NETTO, J. S. M. (orgs.), *Sensoriamento remoto – reflectância dos alvos naturais*. Brasília, DF; Editora UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, p.157-199.
- SALES, V. DE C. & PEAULVAST, J. P. (2007) Evolução morfoestrutural do relevo da margem continental do estado do Ceará, nordeste do Brasil. *Revista Caminhos de Geografia – Uberlândia*, 7 (20): 1- 21.
- SANTOS, T. J. S. (1999). Evolução tectônica e geocronológica do extremo Noroeste da Província Borborema. Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro-SP. Tese de Doutorado, 295 p.
- SANTOS, T.J.S.; FETTER, A.H.; NOGUEIRA NETO, J.A. (2008). West Gondwana, Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region. In: Pankhurst, R.J., Trow,

R.A.J., Brito Neves, B.B., de Witt, M.J. Geological Society, London, Special Publications, n. 294, p.101-119.

THOME, K; ARAI, K.; HOOK, S.; KIEFFER, H.; LANG, H.; MATSUNAGA, T.; ONO, A.; PALLUCONI, F.; SAKUMA, H.; SLATER, P.; TAKASHIMA, T.; TONOOKA, H.; TSUCHIDA, S.; WELCH, R.M. & ZALEWSKI, E. (1998). ASTER preflight and insight calibration and the validation of level 2 products. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36(4): 1161–1172.

VENEZIANI, P.; ANJOS, C.E. (1982). Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia. São José dos Campos: INPE, 61p.

YAMAGUCHI, Y.; KAHLE, A. B.; TSU, H.; KAWAKAMI, T. & PNIEL, M (1998). Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36 (4): 1062–1071.