



Sistemas de informações geográficas aplicadas à descrição de *habitats*

Thiago Morato Carvalho* e Celso Morato Carvalho

Núcleo de Pesquisas de Roraima, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, R. Coronel Pinto, 341, 69301-150, Boa Vista, Roraima, Brasil.
*Autor para correspondência. E-mail: tmorato@infonet.com.br

RESUMO. Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento têm sido amplamente utilizadas para estudos ambientais, nas mais variadas áreas. A importância de estudos interdisciplinares, estabelecendo uma ligação com duas ou mais disciplinas, é importante não somente para a caracterização do ambiente o qual se está descrevendo, mas para o entendimento do funcionamento deste e suas inter-relações com o meio o qual está inserido. Neste contexto, apresentam-se três exemplos, os quais levam em consideração algumas técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento auxiliares para a descrição de *habitats*. Foram utilizados modelos digitais de elevação da SRTM para extração de dados topográficos, tais como declividade, hipsometria, plano de curvatura, índice de umidade, potencial hidráulico e perfis topográficos. Estes exemplos mostram a utilidade de determinados produtos, derivados de dados topográficos, importantes para estudos ecológicos e demais, com o intuito de descrever o ambiente desde o ponto de vista biológico até o físico, através do sensoriamento remoto e geoprocessamento.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, geoprocessamento, ecologia, geomorfometria, *habitats*.

Geographic information systems applied to habitats descriptions

ABSTRACT. Remote sensing and geoprocessing techniques has been enlargement used for environmental studies, in the different disciplines. The importance of interdisciplinary studies, creating a link with others disciplines, is important not only to environmental characterization, but for the knowing of your dynamics and yours interrelationships with your environment. In this context, here is presented three examples, which used remote sensing and geoprocessing techniques to describe the habitats. Was used digital elevation models of SRTM to extraction of topographic features, such as slope, hipsometry, plan curve, wetness index, potential hydraulic, and topographic profiles, important to ecological studies and others, with goal to describe the environment since biological and physical view point, through remote sensing and geoprocessing.

Keywords: remote sensing, geoprocessing, ecology, geomorphometry, habitats.

Introdução

A crescente preocupação com o meio ambiente, advindo dos processos de ocupação da terra e intenso uso dos recursos naturais, criou uma premente demanda relacionada ao conhecimento das características ambientais regionais. Este conhecimento, incentivado pelos órgãos governamentais, são apresentados na forma de estudos que permitem conhecer a composição básica dos conjuntos paisagísticos e aspectos da fauna e flora de uma região, tais como a biodiversidade e biogeografia.

Qualquer que seja a abordagem que requeira os conhecimentos paisagísticos de uma região, são essenciais as caracterizações do relevo, vegetação, hidrografia, solos e clima (AB'SABER, 2003). Estes são parâmetros que definem um domínio morfoclimático e permitem considerações com

relação, por exemplo, à composição de espécies e distribuição destas nos vários *habitats* de um ecossistema. Estes conhecimentos sobre o ambiente de uma região podem ser utilizados para estudos ecológicos e taxonômicos, bem como para utilização racional dos recursos naturais.

Neste contexto, o entendimento de conceitos que permeiam as disciplinas biológicas é tão importante quanto os conceitos próprios das disciplinas físicas, como a Geografia, Geomorfologia e Geologia. O uso de ferramentas apropriadas torna-se fundamental para interpretarmos padrões paisagísticos, como o sensoriamento remoto e geoprocessamento, através de imagens orbitais, fotografias aéreas e modelos digitais de elevação, geotécnicas que têm demonstrado grande auxílio na análise de dados ambientais.

O objetivo deste artigo é apresentar algumas técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento,

as quais auxiliam na descrição de *habitats*, importantes para análises ambientais. São apresentados três exemplos referentes à descrição de *habitats*, levando em consideração o uso de técnicas com o intuito de obter dados morfométricos do relevo (parâmetros geomorfométricos), que podem ser úteis em estudos aplicados à ecologia. O primeiro exemplo de técnicas derivadas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) é sobre a delimitação de diferentes domínios morfoclimáticos, com base na morfologia do relevo, útil para aplicação em estudos da biodiversidade, exemplificado neste artigo para a região de Sergipe (SANTOS; CARVALHO, 2009). O segundo exemplo, voltado para estudos aplicados em biogeografia, refere-se à espacialização de moluscos terrestres em Lima, Peru, mostrando a utilidade de modelos digitais de elevação para compreender a distribuição de determinadas espécies (CARVALHO; RAMIREZ, 2008). O terceiro exemplo trata do uso de determinadas características topográficas, as quais auxiliam na caracterização de diferentes *habitats*, com base na declividade, hipsometria, plano de curvatura, índice de umidade, potencial hidráulico, perfis topográficos, cuja Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Tupé, localizada na Amazônia Central, é a área exemplificada (CARVALHO, 2009).

Nas considerações finais, descreve-se uma síntese do uso de SIG aplicado às análises ambientais com base nos exemplos apresentados, comentários sobre imagens e programas utilizados, contribuindo com a integração das áreas de biologia (ecologia) e geografia (geomorfologia; sensoriamento remoto), destacando a importância de serem inter-relacionadas.

Materiais e métodos

Foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, com o intuito de ilustrar exemplos para caracterização de diferentes *habitats*, úteis em estudos aplicados à ecologia, como biodiversidade e biogeografia. As técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento utilizadas basearam-se na extração de dados fisiográficos do relevo (geomorfometria) através do uso de Modelos Digitais de Elevação (MDEs). Foram utilizados os programas ENVI <sufoft.com.br>, SAGA <saga-gis.org>, MicroDem <usna.edu/Users/oceano/pguth/website/microdem.htm>. Os MDEs utilizados foram os da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), obtidos através da Embrapa <relevobr.cnpm.embrapa.br>. Imagem ótica do Landsat 5 foi obtida através do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais <dgi.inpe.br/CDSR/>.

A imagem do Landsat 5, canal correspondente ao infravermelho médio (banda 5, período de inverno),

foi utilizada para ilustrar a cobertura da névoa marítima na costa do Peru, no estudo de caso da distribuição de moluscos terrestres em Lima, Peru (CARVALHO; RAMIREZ, 2008). Os MDEs (SRTM) foram utilizados para obter alguns parâmetros geomorfométricos nos três exemplos aqui descritos, ou seja, dados quantitativos referentes aos aspectos fisiográficos (morfológicos) do relevo. Os parâmetros morfométricos utilizados para a descrição dos *habitats* foram: perfis topográficos, imagem sombreada do relevo, declividade (inclinação do relevo), hipsometria (classes altimétricas), os quais foram gerados no programa ENVI; mapa de aspecto (orientação cardinal das vertentes), índice de umidade topográfico (potencial de umidade), potencial hidráulico (energia fluvial), plano de curvatura (concavidade e convexidade), divisores de água e canais foram obtidos usando em conformidade os programas SAGA e MicroDem (CARVALHO, 2009).

Os parâmetros geomorfométricos utilizados estão descritos e discutidos de acordo com cada exemplo em resultados e discussão. Para maiores detalhes, consultar os trabalhos de Carvalho e Bayer (2008); Carvalho e Ramirez (2008); Carvalho (2009); Santos e Carvalho (2009).

Resultados e discussão

Biodiversidade e domínios morfoclimáticos

Este primeiro exemplo aborda a importância de caracterizar e situar ecossistemas para estudos ecológicos. Há diversas aplicações de SIG voltadas para a ecologia, como caracterizar áreas compreendidas entre ecossistemas. Os organismos desenvolvem suas atividades vitais devido a um conjunto de adaptações inerentes a cada espécie, formando um processo que envolve a integração de fatores físicos e biológicos (POUGH et al., 1999). É este processo que vai determinar a distribuição das espécies nos ecossistemas e a composição e riqueza de espécies dentro de um *habitat*. Desse modo, é possível interpretarmos os padrões de distribuição das espécies dentro e entre ecossistemas.

Neste sentido, o modelo de domínios morfoclimáticos (AB'SABER, 1967) é de grande utilidade para avaliarmos padrões de diversidade e distribuições, porque utiliza características de relevo, solos, clima, vegetação e hidrografia. Quando estes fatores se sobrepõem, estamos na área nuclear de um domínio. Entre os domínios ocorrem áreas de transição. Um dos problemas para caracterizar domínios é quando a região sofreu forte ação antrópica, como ocorre na mata atlântica, desaparecendo a vegetação original. Neste caso, a caracterização do

relevo através de modelos de elevação é essencial para caracterizarmos o domínio e as áreas de transição, como ocorre entre os domínios da mata atlântica e caatinga; entre estes uma faixa de agreste.

Por exemplo, o número de espécies de anfíbios anuros distribuídos no domínio morfoclimático da caatinga é menor do que na mata atlântica (RODRIGUES, 2005; SILVANO; PIMENTA, 2003). Como determinar corretamente o que é caatinga, agreste e mata atlântica se a região está bastante descaracterizada da vegetação original? Para estudos que possam verificar esta relação, é necessário caracterizar bem as áreas de mata atlântica e caatinga que serão inventariadas. Para exemplificar este problema, na região de Sergipe, com o intuito de distinguir os domínios da caatinga e mata atlântica, bem

como a área de agreste (transição), o relevo (feições da topografia) pode ser utilizado como critério para distinguir os diferentes *habitats* (região florestada, caatinga e zona de transição), conforme Santos e Carvalho (2009). Desse modo, é possível caracterizar os domínios, através de transectos (perfis topográficos). Na Figura 1, porção ACE caracteriza-se pelo relevo da mata atlântica (morros em forma de 'meia laranja'), na porção BDF o domínio da caatinga, com as serras baixas e os pedimentos; entre estes dois domínios, uma área de transição, o agreste, com relevo amorreado e menos acentuado do que as serras da caatinga. Neste caso, perfis topográficos e interpretação da morfologia do relevo (geomorfologia) é uma ferramenta útil na descrição de *habitats*, e conseqüentemente para estudos em biodiversidade.

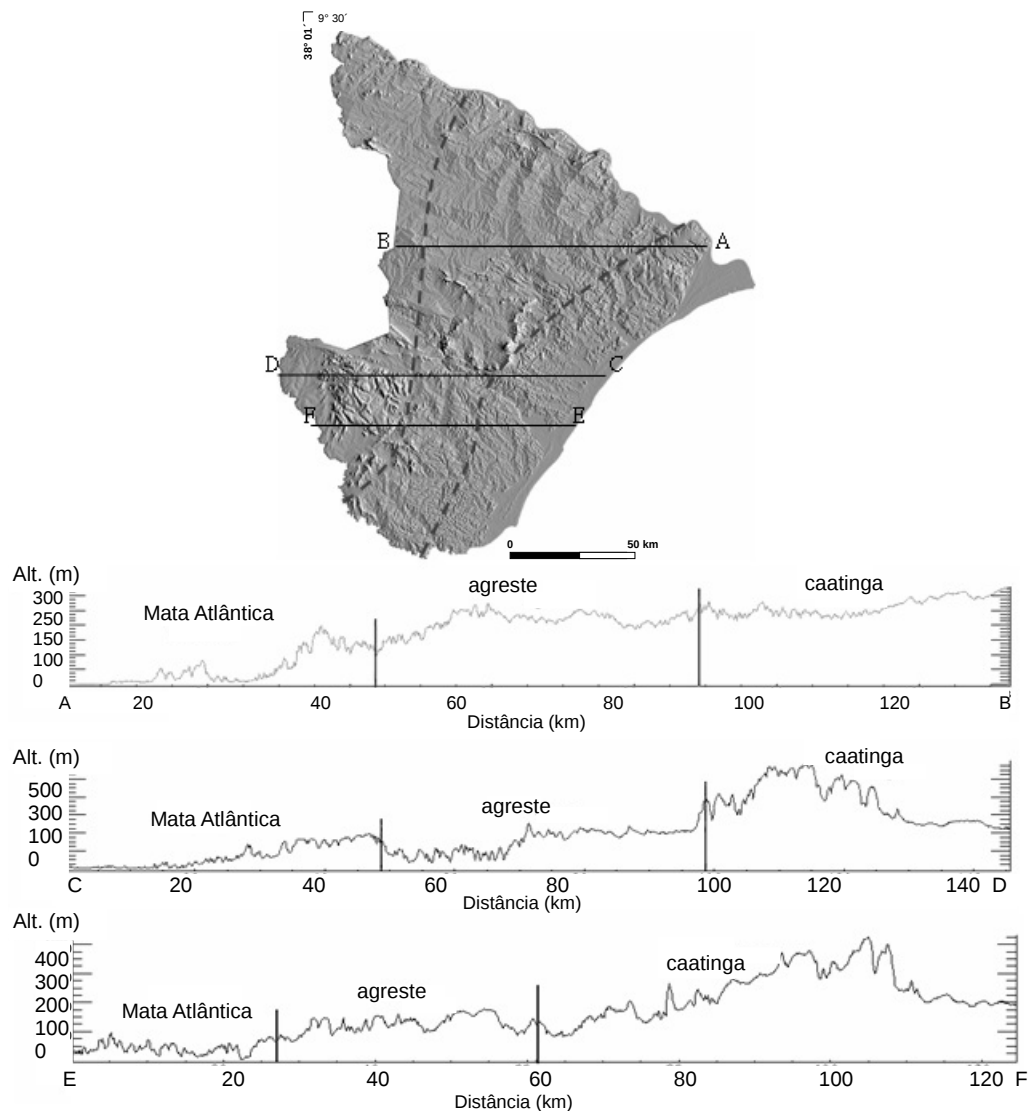


Figura 1. MDE SRTM, transectos para caracterização do relevo dos domínios morfoclimáticos da caatinga e mata atlântica, separados pelo agreste: AB 10°15'S mata atlântica, agreste e caatinga - CD 10°50' S mata atlântica, agreste e caatinga - EF 11°00' S mata atlântica, agreste e caatinga. Porção ACE mata atlântica, porção BDF caatinga.

Biogeografia

Neste exemplo, é abordado a temática da biogeografia, sobre distribuição de organismos nos *habitats* regionais. Compreender a distribuição das espécies é importante no entendimento de modelos evolutivos, sendo importante sua associação com os aspectos do relevo. Na região metropolitana de Lima, ocorrem 13 espécies de moluscos distribuídas de acordo com a topografia, temperatura e umidade (RAMÍREZ, 2004; CARVALHO; RAMIREZ, 2008). Os locais exemplificados são os morros Solar, San Cristobal (altitude de 400 m), Observatório Alto (altitude 465 m), e Segundo (altitude 520 m). O clima da região é desértico subtropical, nos morros ocorrem formações vegetais conhecidas como “lomas”, influenciadas pela névoa marítima (garúas) (OKA; OGHA, 1984; ONO, 1986). As espécies na região são: a) na Ilha San Lorenzo, *Bostryx conspersus* e *B. laurentii*; b) no Morro Solar, *B. modestus*, *Succinea peruviana*, *Pupoides paredesii* e *Gastrocopta pazi*; c) no sopé dos Andes (morros Observatório Alto, Segundo e San Cristobal), *B. sordidus*, *B. aguilar*, *B. conspersus*, *Scutalus proteus*, *Succinea peruviana*, *Wayampia trochilioneides* e *Heterovaginina limayana* (RAMÍREZ, 2004).

Com o auxílio do modelo digital de elevação, nota-se que os moluscos são frequentes nas encostas voltadas para os ventos alísios – posição de barlavento. Isto é explicado pelo fato dos moluscos dependerem da umidade das névoas e da vegetação nestas áreas, o que pode ser notado com o uso de imagem no comprimento de onda do infravermelho médio, banda 5 (Landsat 5). A maior concentração de moluscos foi no continente, no sopé dos Andes, em que os padrões de declividade foram um fator topográfico que

influencia na distribuição de espécies. A concentração de indivíduos é maior nas áreas com declividade entre 5-13° na ilha de San Lorenzo, 15-28° nas encostas do morro Solar, e 18-30° no sopé dos Andes, morros Observatório Alto, Segundo e San Cristobal (CARVALHO; RAMIREZ, 2008). As Figuras 2 e 3 mostram a distribuição dos moluscos com base em modelo digital de elevação.

Qual é a dinâmica que promove estas variações físicas e que vão influenciar na distribuição dos moluscos nas áreas estudadas? O principal fator físico é o relevo, proporcionando precipitação da névoa marítima, que naquela região é transportada pelos ventos alísios na direção W-E. Ao passar pelas encostas dos Andes, a névoa ascende e sofre precipitação, abrangendo principalmente as áreas mais elevadas, como nos morros Observatório Alto, Segundo e San Cristobal, entre as cotas 150 a 750 metros, o que pode ser analisado através de classes altimétricas (hipsometria). Em outras áreas, como no Morro Solar, ao sul da cidade de Lima, a precipitação não é intensa, pois se trata de um morro isolado, com cotas variando de 0 a 278 metros. Esta área situa-se junto à linha de praia e tem vegetação xerofítica onde predomina a bromeliácea *Tillandsia latifolia*.

Compreender aspectos da biogeografia não se baseia somente na espacialização geográfica de espécies, mas uma interação com os aspectos geomorfológicos (processos morfológicos ativos e inativos), os quais podem ser compreendidos através do uso de determinadas ferramentas aplicadas como o SIG, por exemplo, com base em modelos digitais do relevo, auxiliando na extração de dados topográficos.

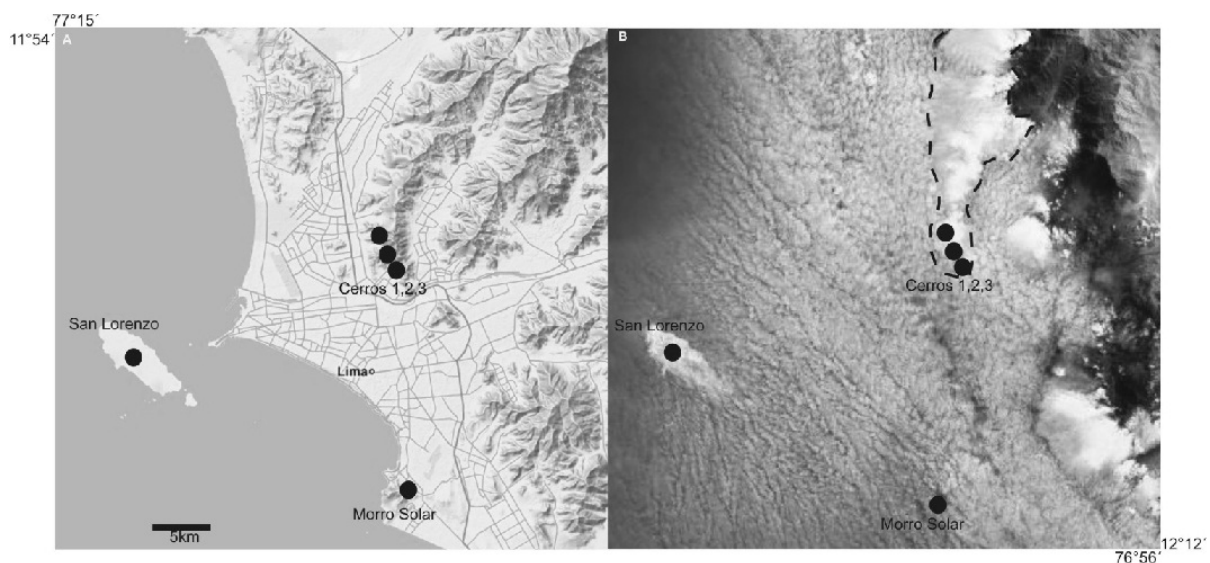


Figura 2. A: círculos em preto mostram as áreas de ocorrência dos moluscos. B: ocorrência dos moluscos e a influência das névoas. As manchas brancas densas são áreas em que a névoa precipita – linha pontilhada (sopé dos Andes).

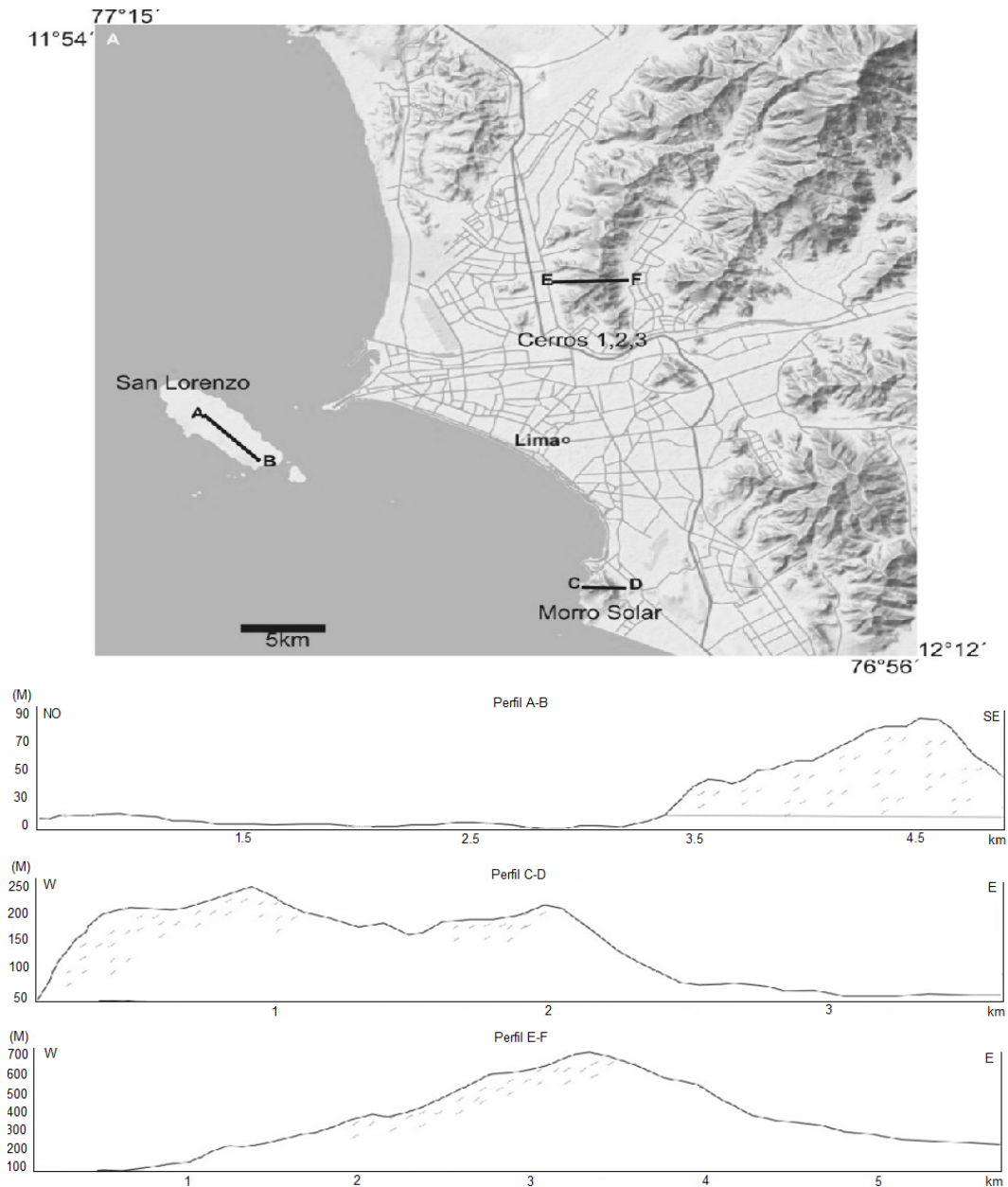


Figura 3. Perfis topográficos e distribuição de moluscos nas encostas de barlavento. A distribuição das espécies está indicada pelas áreas hachuradas.

Identificação de *habitats* através de alguns parâmetros geomorfométricos

O reconhecimento dos *habitats* que ocorrem nos ecossistemas é essencial para entendermos a estrutura e o funcionamento das comunidades vegetais e animais. Este reconhecimento pode ser feito por inspeção visual e por imagens, ambos os métodos se complementam. Este terceiro exemplo trata da descrição de *habitats* em ecossistemas amazônicos, que pode ser analisado através de formas denudacionais (processos predominantemente erosivos) e agradacionais (processos predominantemente acumulativos), rede de drenagem, classes altimétricas e declividade. São parâmetros

geomorfométricos que permitem estabelecer outros parâmetros associados, como a direção das encostas e o potencial de erodibilidade do solo por métodos indiretos.

O estudo que compõe este exemplo foi feito em área rural da cidade de Manaus, Amazonas, margem esquerda do Rio Negro (CARVALHO, 2009).

É uma área de preservação – Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Tupé – onde o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia desenvolve projetos de pesquisa visando ao conhecimento da biodiversidade e sustentabilidade. Do ponto de vista geomorfológico, a região apresenta

classes de relevo típicas da Amazônia. Estas classes podem ser identificadas com o uso de MDEs, por exemplo os platôs, formas residuais de antigas superfícies de aplainamento que apresentam feições planas ou semiplanas (baixa declividade), cobertas por vegetação de terra firme. Neste contexto, podemos identificar também patamares mais baixos (baixios), adjacente aos platôs, que apresentam encostas com maior declive e maior índice de umidade.

Uma forma de melhor visualizar as feições denudacionais - os platôs - é isolando-os das demais formas de relevo (Figura 4). Os perfis topográficos mostram que os platôs são da mesma superfície de aplainamento, praticamente situados na mesma cota altimétrica, separados pela rede de drenagem. A rede de drenagem tem um papel de modelador da

superfície, dissecando a superfície mais antiga (platôs), com processos predominantemente erosivos, e originando uma nova superfície abaixo (baixios), com processos predominantemente acumulativos (lagos, planícies fluviais). Identificar estes dois grandes sistemas geomorfológicos (agradacionais e denudacionais) é a primeira etapa que deve ser seguida, devido a sua utilidade em espacializar onde estão as morfologias com predominância de processos erosivos (serras e morros), favorecendo a distribuição de determinadas espécies adaptadas a estes ambientes; e onde ocorrem as morfologias com predominância de processos acumulativos (lagos, planícies fluviais, terraços), favorecendo a distribuição de espécies adaptadas a estes sistemas, por exemplo, as que vivem em áreas úmidas.

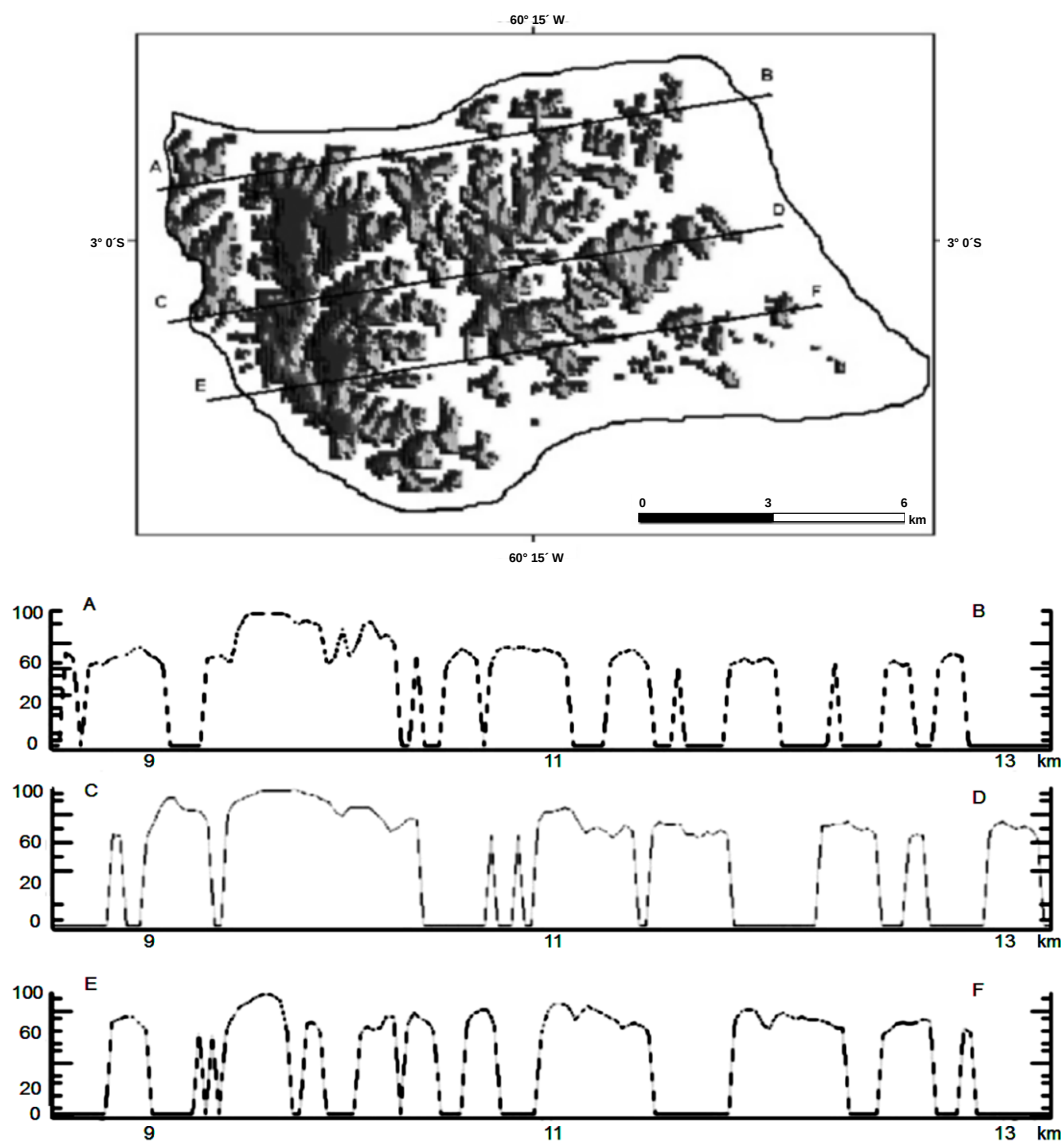


Figura 4. DEM (*hill shade* – SRTM) dos platôs da RDS do Tupé. Os perfis topográficos A-B; C-D; E-F indicam que os platôs da RDS pertencem a uma única superfície de aplainamento.

Com relação às classes altimétricas (hipsometria) da RDS, estas variam entre 10 e 106 metros, com relevo mais elevado na região oeste, e suave caimento para leste. O caimento suave é referente aos baixios, superfície abaixo dos platôs a qual está sendo dissecada de leste para oeste. A média da altitude do relevo na reserva é em torno de 34 metros. O relevo no entorno da reserva apresenta cotas mais elevadas, máximo de 115 metros de altitude (Figura 5).

Declividade é um importante parâmetro ecológico que exerce influência sobre a distribuição de organismos. Sobre o parâmetro declividade, muitas vezes é necessário obtermos valores médios para cada faixa altimétrica. Por exemplo, na cota de 50 metros, podemos obter as três classes médias de declividade, ou podemos ainda avaliar em quais faixas altimétricas estão as maiores médias de declividade (Figura 6). Na reserva do Tupé, as faixas altimétricas entre 30 e 50 metros apresentam as maiores médias de declividade (variam aproximadamente entre 2-9 graus).

As vertentes constituem importantes *habitats* nos ecossistemas e a direção destas fornece informações sobre a distribuição dos animais, por exemplo, determinadas espécies vegetais preferem áreas com maior ou menor incidência solar. Na RDS do Tupé, as vertentes estão direcionadas preferencialmente para leste, indicando a direção de evolução das

vertentes para oeste (dissecação do relevo). As encostas mais protegidas, com relação à intensidade solar (maior índice de sombreamento), são as de SW (sudoeste) e NW (noroeste), conforme a Figura 7.

Outra relação útil para entendermos os *habitats* de um ecossistema é com relação à espacialização da declividade, em referência aos pontos cardinais, ou seja, de que forma as classes de declividade estão distribuídas na região em relação ao norte geográfico. Os diagramas de rosa (Queens Aspect Ratio) mostram esta relação na RDS Tupé (Figura 8). É o cruzamento do gradiente do relevo (declividade) com o aspecto (orientação cardinal das encostas). Na Tupé, as encostas voltadas para leste possuem um gradiente mais suave; os declives maiores que 20% estão voltados para norte e oeste. Declividades entre 5 e 10% são as mais representativas em todas as direções da reserva.

Os *habitats* sujeitos às erosões têm forte influência sobre a distribuição das espécies. O parâmetro erosão pode ser estimado através do cruzamento de dados do gradiente do relevo, potencial hidráulico e plano de curvatura. Os cruzamentos foram utilizados para gerar um mapa do potencial de erodibilidade (Figura 9). Na RDS, o potencial erosivo baixo e moderado são os mais representativos, possivelmente devido à cobertura vegetal que funciona como agregadora do solo.

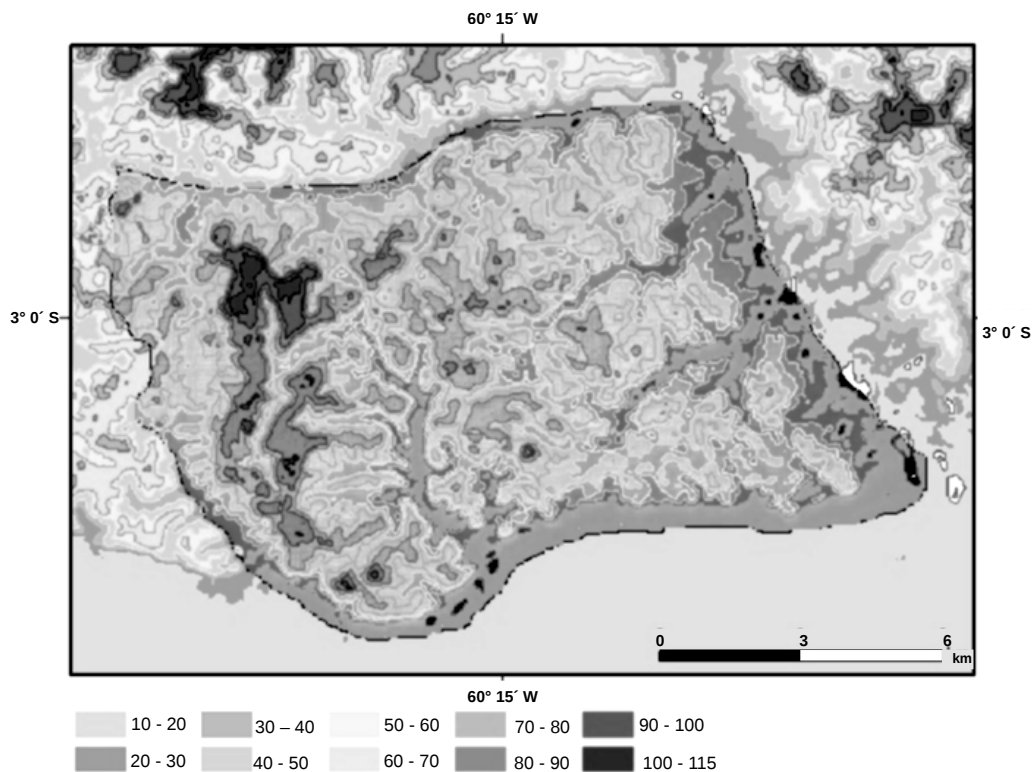


Figura 5. Classes hipsométricas da RDS do Tupé, representando a variação altimétrica em classes de 10 em 10 metros.

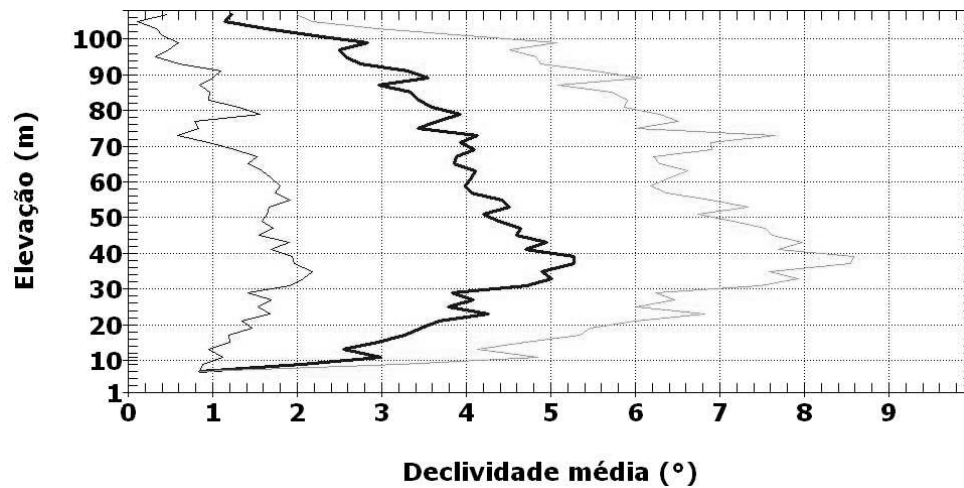


Figura 6. Relação entre elevação e declividade média (graus). Para cada cota altimétrica, o gráfico plota três classes de declividade.

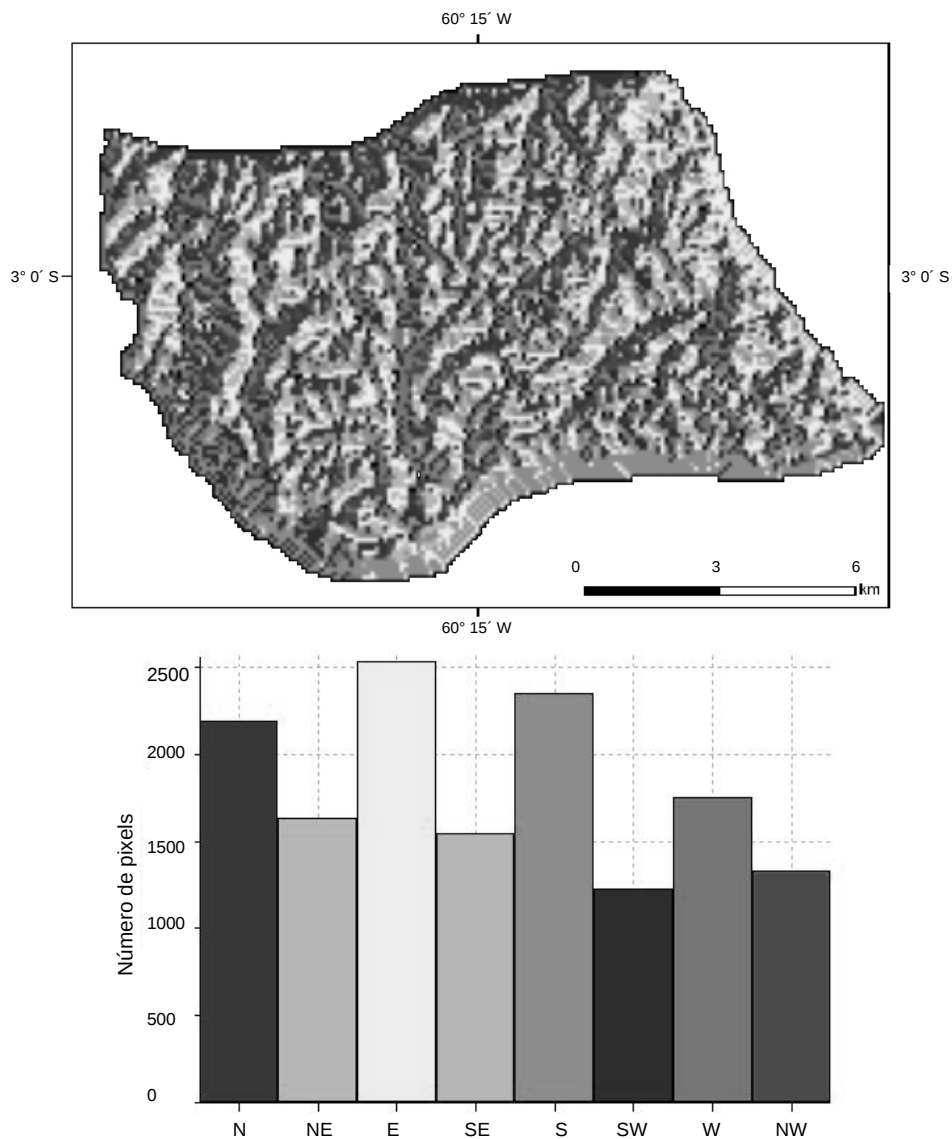


Figura 7. Direções cardiais das encostas na RDS do Tupé (mapa de aspecto).

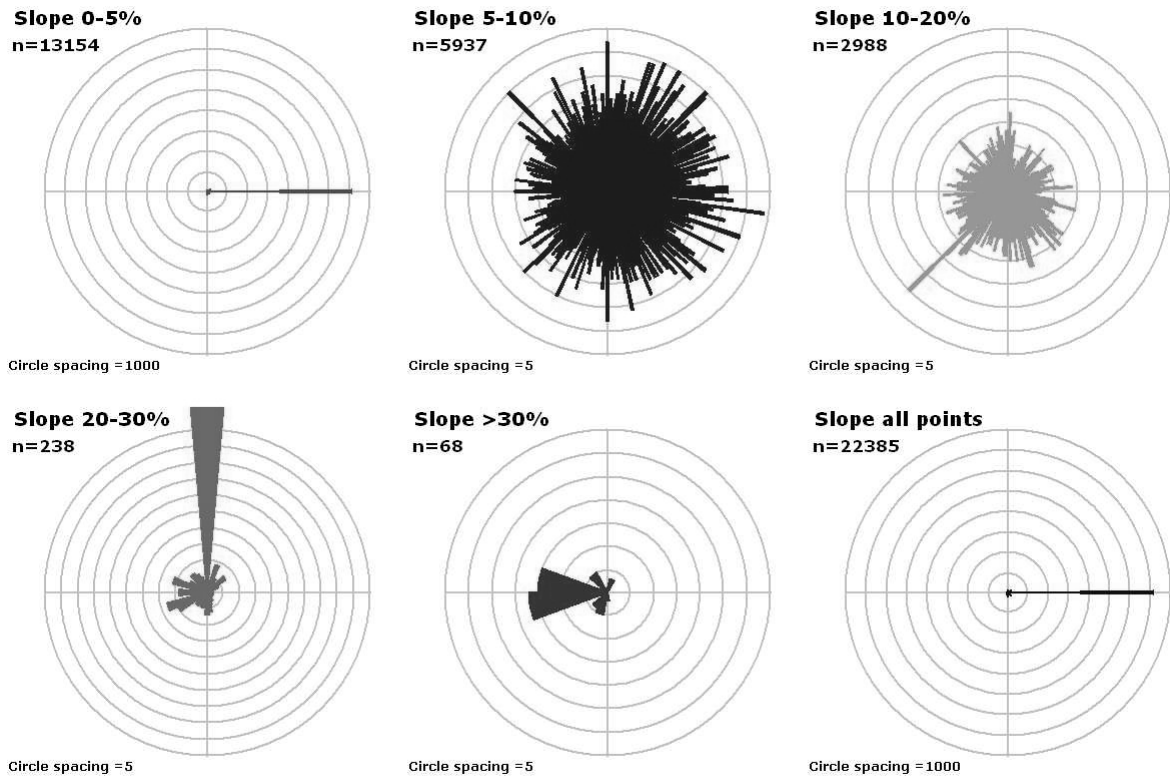


Figura 8. Diagramas de rosa (*Queens Aspect Ratio*), relação gradiente e aspecto do relevo da RDS do Tupé.

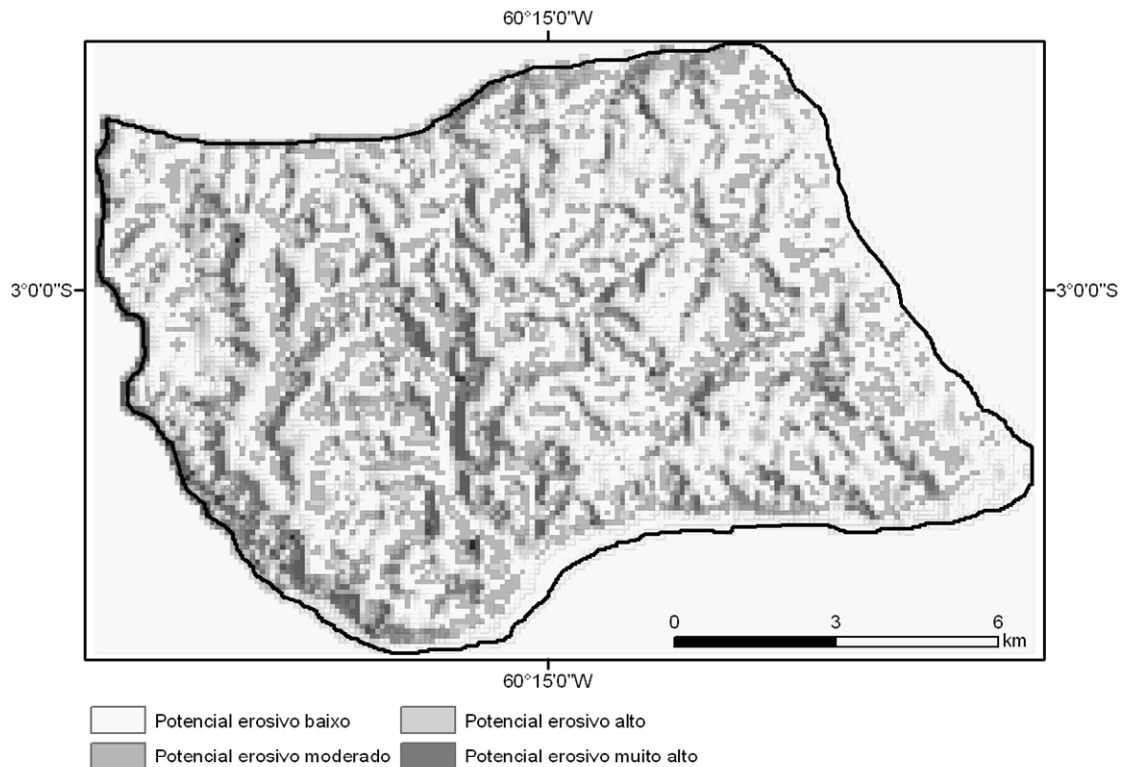


Figura 9. Potencial a erodibilidade na RDS do Tupé.

Entre diferentes *habitats* há áreas que podemos identificar como ecótonos. A extração de alguns

parâmetros como divisores de água, canais (drenagem, atual ou inativa) e terrenos mais

elevados (platôs), derivados da imagem de curvatura, e do MDE *hill shade*, servem de base para geração de um mapa de ecótonos. Este produto auxilia na identificação de áreas de ocorrência de animais que dependem em vários graus da água, répteis e anfíbios. Com relação à flora, a identificação destes *habitats* é essencial para entendermos a distribuição de espécies adaptadas a áreas úmidas e de terra firme (Figura 10). O uso destes modelos também é importante para identificarmos os limites entre bacias hidrográficas, onde podem ser delineados os divisores de águas e rede de drenagem.

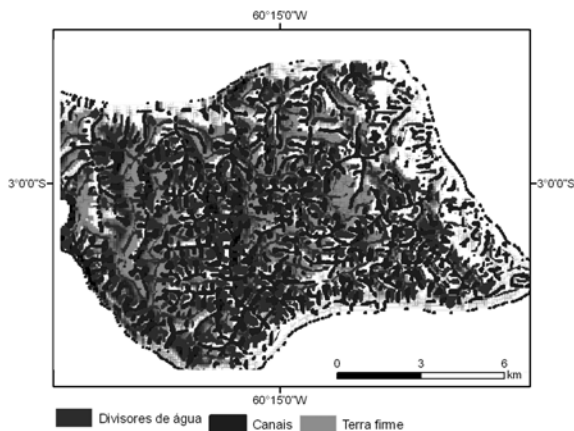


Figura 10. Ecótonos identificados na RDS do Tupé com base no cruzamento dos parâmetros divisores de água (cinza escuro); canais (preto) e terra firme (cinza claro).

Considerações finais

Os três exemplos do uso de sensoriamento remoto e geoprocessamento na descrição de *habitats*, citados neste artigo, ilustram como as geotécnicas podem ser utilizadas como ferramenta para estudos ecológicos, em particular, com base em parâmetros geomorfométricos. Neste contexto, são pertinentes breves comentários sobre fontes e programas. As fontes referem-se às imagens, derivadas do imageamento orbital ou suborbital de um determinado sensor. Este sensor é capaz de obter informações físico-químicas de determinados alvos da superfície terrestre (continentes/oceanos) ou atmosfera. As imagens podem ser de sensores passivos ou de ativos. Sensores passivos orbitam em conformidade com a irradiação solar na superfície terrestre. Os satélites mais usuais para estudos ambientais são das séries Landsat, Cbers, Spot, Ikonos, QuickBird. Sensores ativos podem irradiar um sinal (micro-ondas) na superfície terrestre, com a vantagem de poder operar à noite e independente das condições climáticas. Os satélites mais usuais são Jers, Radarsat e Alos.

Modelos altimétricos são importantes para análises morfológicas do relevo, os quais podem ser derivados através de levantamento topográfico em campo, derivado das curvas de nível de cartas topográficas ou através de sensoriamento remoto (sensores sub/e orbitais). Os produtos obtidos por sensoriamento remoto podem ser obtidos por: fotografias aéreas (par estereoscópico); *Light Detection and Ranging* (LiDAR); radar interferométrico, como as imagens da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM); *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflectance Radiometer* (ASTER); *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS); *Système Pour l'Observation de la Terre* (SPOT). Existem algumas controvérsias com os termos utilizados para nos referirmos aos modelos que representem o relevo e estruturas associadas (vegetação, edificações, etc.). Não há um consenso definido para o uso de termos como Modelo Digital de Elevação, Superfície, Terreno, porém é importante deixar claro a fonte da qual foi derivado o modelo. Por exemplo, uma particularidade do termo Modelo Digital de Elevação (MDE) é que este se refere a um modelo da superfície de diversos alvos, i.e., um modelo que esteja incorporando características do dossel, edificações, acidentes topográficos, etc. O termo Modelo Digital do Terreno (MDT) deveria ser usado para descrever o modelo de elevação do terreno (superfície ao nível do solo), derivado de dados topográficos, onde foram removidos a vegetação (dossel) e edificações. O termo MDT (em inglês *Digital Elevation Model*) foi usado por Miller e Laflame (1958) no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT). Outro produto, derivado de dados altimétricos, interessante para estudos morfológicos do relevo e suas associações, é o 'modelo de altura', referente ao nível de base local. Ao contrário de modelos de elevação que levam em consideração o nível de base global (oceano), o de nível de base local considera a rede de drenagem como cota zero. O resultado deste produto é uma imagem que representa as características morfológicas do relevo com a altura real (base local-topo), e não a altitude (referência oceano-topo). Uma das utilidades deste produto é o delineamento da rede de drenagem e seus divisores de água (bacias hidrográficas) servindo de base para estudos como morfometria da rede de drenagem (ordens de canais, graus de conexão, comprimento, etc.). Pode também ser utilizado o método de extração automática com uso de programas como o *Envi*, *RiverTools*, *Saga* e demais com base em diversos algoritmos, por exemplo o *Height Above Nearest Drainage* (HAND) (RENNÓ et al., 2008); altura de topo de morro; identificação de formas denudacionais (morros, serras, em geral formas convexas) e agradacionais (planícies, fundos de vale, em geral formas côncavas), dentre outros parâmetros geomorfométricos, os quais

nos auxiliam na caracterização morfológica e evolutiva do relevo. Alguns destes produtos geomorfométricos estão disponíveis para todo o Brasil, derivados da SRTM e reamostrados para 30 metros – Projeto TopoData (VALERIANO, 2005).

Com relação à obtenção de imagens, estas podem ser através de empresas ou por acesso livre (devido a acordos intergovernamentais), por exemplo: Engesat <engesat.com.br>; Digital Globe <digitalglobe.com>; Spot <spotimage.fr>; Catálogo de Imagens do Inpe <dgi.inpe.br/CDSR/>; GeoCover-Landsat <zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>; Global Land Cover Facility <glcf.umiacs.umd.edu/>; Embrapa SRTM <relevobr.cnpm.embrapa.br>; *The National Map Seamless Server* USGS <seamless.usgs.gov>; Aster GDEM <gdem.aster.ersdac.or.jp>.

Os programas podem ser comerciais ou código aberto, cuja finalidade é o processamento de imagens que vão fornecer dados úteis para análises ambientais. Os programas comerciais mais usuais são ArcView, ArcGis, ERDAS, ENVI, Global Mapper, dentre outros. Os programas de código aberto mais usuais são SPRING, SAGA, GRASS, MicroDem, TAS, LandSerf. Estes programas podem ser obtidos nos seguintes endereços: ESRI <esri.com>; ERDAS <erdas.com>; ENVI <sulsoft.com.br>; Global Mapper <globalmapper.com>; SPRING <dpi.inpe.br/spring/portugues/download.php>; SAGA <saga-gis.org>; GRASS <grass.itc.it>; MicroDem <usna.edu/Users/oceano/pguth/website/microdem.htm>; TAS <uoguelph.ca/~hydrogeo/TAS/index.html>; LandSerf <soi.city.ac.uk/~jwo/landserf/>.

O uso dos produtos derivados por imageamento orbital e/ou suborbital vão depender do objetivo de cada estudo, sendo necessário o usuário estabelecer critérios como escala de análise (podendo ser fixa ou variada), necessidade de imagens de diferentes datas (estudo multitemporal), escolha do produto que melhor identifique o objeto a ser mapeado (interpretado), dentre outros, os quais vão depender basicamente dos objetivos da pesquisa. Por exemplo, dependendo da escala de análise, sensores como Landsat 5 apresentam resolução espacial (tamanho do pixel) de 30 metros, já Landsat 7 ou imagens Geocover 2000 são de ~15 metros, além de outros com alta resolução, como o Quickbird ou Ikonos (~1m), porém com elevado preço. Isso pode ser contornado com o uso de imagens já disponibilizadas de forma gratuita em programas como o GoogleEarth, bastando o usuário capturar a cena da região de estudo do GoogleEarth e georeferenciá-la novamente. Para estudos em que se deseja identificar planícies fluviais, áreas periodicamente ou permanentemente alagadas,

dinâmica da cobertura e uso da terra, etc., é preciso o uso de imagens de diferentes datas, com a finalidade de se observar a variabilidade dos fenômenos a serem estudados. No entanto, alguns cuidados devem ser tomados, como a variação da resolução espacial dos sensores e mudanças significativas da componente atmosfera. Nestes casos, o uso de ferramentas para reamostragem espacial dos pixels de uma imagem e correção atmosférica é necessário.

Para descrição dos aspectos morfológicos do relevo, o uso de imagens como radar, modelos altimétricos e imagens óticas são úteis. Isso devido à capacidade de cada sensor identificar determinados alvos, por exemplo, imagens altimétricas são úteis para identificar unidades denudacionais como serras, morros e demais formas convexas do relevo, além de extração de produtos como declividade, hipsometria, perfis topográficos (identificar patamares diferenciados do relevo, perfis longitudinais de canais), etc. No entanto, imagens de sensores óticos/radar (2D), são complementares para identificação de unidades agradacionais, como planícies fluviais, aluviões, terraços, áreas úmidas em geral, além de estudos aplicados ao uso e cobertura da terra. A Tabela 1 exemplifica a aplicabilidade de alguns sensores para estudos ambientais.

Tabela 1. Satélites/sensores com imagens de distribuição gratuitas e suas aplicações usuais.

Satélites/Sensores* (gratuitos)	Resolução Espacial (m)	Aplicabilidades usuais
SRTM/BandasX-C (MDE/Radar)	30 (EUA); 90 (global)	Declividade; hipsometria; curvatura; drenagem; sombreado; aspecto; incidência solar;
Terra/Áster(AVNIR- GDEM - ótico)	30	perfis topográficos; volume; falhas geológicas; paleodrenagem; escoamento; curvas de nível; APPs
Landsat/MSS-TM-ETM+ (ótico) e GeoCover (1990;2000 e 2005)	80; 30 e 15	Uso e cobertura da terra; fitomassa aérea; fitosanidade; corredores ecológicos;
CBERS-2B/IRMSS-CCD- HRC (ótico)	80;20 e 2,7	fragmentos florestais; morfologias ativas e inativas de planícies fluviais;
ResourceSat-1/AWIFS- Liss3 (ótico)	56 e 23.5	aluviões; solos; temperatura/umidade de superfície; áreas alagáveis
Terra/Aster(SWIR-VNIR) (ótico)	30 e 15	permanentes ou sazonais; sistemas lacustres; macrófitas; fluxo de sedimentos fluviais; desmatamento; queimadas; expansão e infraestrutura urbana; APPs; malha viária; plumas de contaminação; agricultura;

*Informações de satélites/sensores usuais, com livre distribuição. Outro como Modis; Goes (com resolução espacial acima de 200 metros) dentre outros não estão listados aqui.

Referências

- AB'SABER, A. N. Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil. **Orientação**, v. 1, n. 3, p. 45-48, 1967.
- AB'SABER, A. N. **Os Domínios de natureza no Brasil**: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- CARVALHO, T. M. Parâmetros geomorfométricos para descrição do relevo da reserva de desenvolvimento sustentável do Tupé, Manaus, Amazonas. In: SANTOS, E. N.; SCUDELLER, V. V. (Org.). **Biotupé**: meio físico, diversidade biológica e sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central. Manaus: UEA, 2009. v. 2. p. 3-17.
- CARVALHO, T. M.; BAYER, M. Utilização dos produtos da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) no mapeamento geomorfológico do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, n. 1, p. 35-41, 2008.
- CARVALHO, T. M.; RAMÍREZ, R. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas à biogeografia: metodologia geográfica para espacialização de moluscos terrestres. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 28, n. 1, p. 157-166, 2008.
- MILLER, L.; LAFLAMME, R. The digital terrain model: theory and application. **Photogrametric Engineering**, v. 3, n. 24, p. 433-442, 1958.
- OKA, S.; OGAWA, H. The distribution of lomas vegetation and its climatic environments along the Pacific coast of Peru. **Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University**, v. 19, p. 113-125, 1984.
- ONO, M. Definition, classification and taxonomic significance of the Lomas vegetation. In: ONO, M. (Ed.). **Taxonomic and ecological studies on the Lomas vegetation in the Pacific Coast of Peru**. Reports for overseas scientific survey. Makino Herbarium. Tokyo: Metropolitan University, 1986. p. 5-14.
- POUGH, F. H.; HEISER, J. B.; McFARLAND, W. N. **A vida dos vertebrados**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 1999.
- RAMÍREZ, R. **Sistemática e filogeografia dos moluscos do ecossistema de Lomas do deserto da costa central do Peru**. 2004. 194f. Tese (Doutorado em Biociências)-Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- RENNÓ, C.; NOBRE, A.; CUARTAS, A.; SOARES, J.; HODNETT, M.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: mapping terra-firme rainforest environments in Amazônia. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 3, p. 469-481, 2008.
- RODRIGUES, M. T. Herpetofauna da caatinga. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Ed.). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: UFP, 2005. Cap. 4, p. 181-236.
- SANTOS, A. L. C.; CARVALHO, C. M. **Diagnóstico dos fragmentos de mata atlântica de Sergipe através de sensoriamento remoto**. 2009. 110f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais)-Universidade Federal de Sergipe, Aracaju. 2009.
- SILVANO, D. L.; PIMENTA, B. V. S. Diversidade de anfíbios na Mata Atlântica do Sul da Bahia. In: PRADO, P. I.; LANDAU, E. C.; MOURA, R. T.; PINTO, L. P. S.; FONSECA, G. A. B.; ALGER, K. (Ed.). **Corredor de biodiversidade na Mata Atlântica do Sul da Bahia**. Ilhéus: IESB/CI/CABS/UFGM/Unicamp, 2003. (1 CD-ROM)
- VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2005. p. 1-8.

Received on August 17, 2011.

Accepted on April 3, 2012.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.