
CLASSIFICAÇÕES SUPERVISIONADAS DA FLORESTA OMBRÓFILA DENSA DO ESTADO DO PARANÁ A PARTIR DE IMAGENS MODIS E SRTM

WILLIAN SAMUEL SANTANA DA ROZA
SELMA REGINA ARANHA RIBEIRO

Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG
Setor de Ciências Exatas e Naturais
Departamento de Geociências, Ponta Grossa, PR
willianssr,{selmar.aranha}@gmail.com

RESUMO - O Sensoriamento Remoto dispõe de dados orbitais oriundos de satélites e radares, entre os quais estão as imagens de satélite do sensor MODIS e dados altimétricos de RADAR do SRTM. A partir destes dados referentes ao Estado do Paraná realizou-se classificações supervisionadas por método paramétrico e não paramétrico, a fim de representar a vegetação remanescente da Floresta Ombrófila Densa (FOD) de acordo com os mapas do Paraná, Formações Fitogeográficas (2009) do ITCG e Cobertura Vegetal Remanescente (2005-2008) do IPARDES e do Manual Técnico da Vegetação Brasileira do IBGE. O melhor resultado foi obtido pela classificação não - paramétrica (RNA). Com o desenvolvimento deste trabalho pode-se analisar as potencialidades e limitações da imagem MODIS, a fim de realizar pesquisas que envolvem classificação de imagens digitais, sendo que os dados altimétricos SRTM foram fundamentais para diferenciar as altitudes da FOD e como dado auxiliar para a classificação com RNA. Conclui-se a partir dos resultados oriundos da classificação digital de imagens MODIS e dados auxiliares do SRTM que é possível gerar produto cartográfico, a fim de representar a vegetação remanescente da FOD.

ABSTRACT - The Remote Sensing offers orbital data from satellites and radars, among which are the images of MODIS satellite sensor data and the SRTM radar altimeters. From these data to the Paraná State, was make a parametric and nonparametric classifications supervised, in order to represent the remaining vegetation of the Densa Ombrófila Forest (FOD) in accordance with the maps of the Parana State Phytogeographic Formations (2009) of ITCG and Remnant Vegetation (2005-2008) and the Technical Manual IPARDES Vegetation Brazilian IBGE. The best result was obtained by sorting non - parametrics (RNA). With the development of this work, we can analyze the strengths and limitations of MODIS image in order to conduct research involving classification of digital images, and altimetric SRTM data were essential to distinguish the altitudes of the FOD and as ancillary data for classifying with RNA. Therefore, it is concluded from the results from the digital classification of MODIS and ancillary data from the SRTM is possible to generate cartographic product to represent the remaining vegetation FOD.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Jensen (2009), sensoriamento remoto é a ciência de obter informações sobre um objeto sem estar em contato físico com o mesmo, sendo que é usado para medir e monitorar importantes características biofísicas e atividades humanas da Terra. É uma técnica similar a matemática, pois usa sofisticados sensores para medir a quantidade de energia eletromagnética que provém de um objeto ou área geográfica a distância, e depois a extração de informação importante dos dados, usando algoritmos baseados em matemática e estatística (FUSSEL et al. 1986, apud JENSEN, 2009).

O sensoriamento remoto é classificado em ativo e passivo, de acordo com a radiação eletromagnética dos sistemas sensores. É considerado sensoriamento remoto passivo quando a energia registrada pelo sistema sensor deriva de uma fonte natural, como é o caso da energia solar. Considera-se sensoriamento remoto ativo quando a energia é emitida pelo próprio sensor em direção ao objeto para depois medir a parcela refletida (CENTENO, 2004).

O SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) corresponde ao sensoriamento remoto ativo. O SRTM é um projeto internacional liderado pela NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*) e pela NASA (*National*

Aeronautics and Space Administration), em parceria com as agências espaciais alemã (DLR- *Deutsches Zentrum für Luft*) e italiana (ASI- *Agenzia Italiana Spaziale*). Em 11 de fevereiro de 2000 foi lançado o ônibus espacial *Endeavour*, com o objetivo de adquirir durante onze dias de operação a mais completa base de dados, quase global, da topografia da Terra. Usou-se um RADAR de abertura sintética interferométrico (SAR), banda C e banda X, para adquirir dados topográficos em mais de 80 por cento da área emersa da Terra, entre 60° N e 56° S (NASA SRTM, 2011).

O imageamento interferométrico por RADAR é o método pelo qual as imagens de RADAR de um mesmo local na superfície terrestre são registradas por antenas em diferentes localizações ou em tempos distintos (MADSEN; ZEBKER, 1998; RABUS et al., 2003; HODGSON et al., 2003, apud JENSEN, 2009).

O sistema SRTM possuía com duas antenas de recepção, separadas por um mastro de sessenta metros, o que possibilitou a obtenção dos dados em uma mesma órbita, garantindo uma boa qualidade dos mesmos. Os dados, adquiridos com resolução de 1 arco-segundo o que equivale a aproximadamente 30 metros e 3 arco-segundos (aproximadamente 90 x 90 metros no equador) no equador, foram processados, gerando-se os MDEs da área coberta. (BARROS, 2006).

Segundo Burrough e McDonnell (2004) o MDE (Modelo Digital de Elevação) é definido como qualquer representação digital de uma variação contínua do relevo no espaço. Os modelos digitais de terreno representam a variabilidade de um atributo, ou fenômeno geográfico, que ocorre dentro de um espaço geográfico de interesse. Um sistema de modelagem digital do terreno compreende: a aquisição de um conjunto de amostras representativas do fenômeno a ser estudado; a confecção do modelo digital, propriamente dito e; a definição de uma série de processamentos de análises sobre os modelos com a finalidade de extrair informações úteis na aplicação de geoprocessamento (FELGUEIRAS, 1997).

As imagens obtidas pelo sensor MODIS (*MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer*) correspondem ao sensoriamento remoto passivo. O sensor MODIS é um radiômetro-imageador, com alta sensibilidade radiométrica (12 bits), possui duas coberturas diárias em resoluções espaciais de 250, 500 e 1000 metros. Composto por 36 bandas espectrais que vão do visível ao infravermelho termal. As primeiras sete bandas foram projetadas para as aplicações terrestres, com resolução de 250 metros: banda 1 no vermelho (0,620-0,670 μm) e banda 2 no infravermelho próximo (0,841-0,876 μm) e de 500 metros: bandas 3 a 7 (0,450-0,479; 0,545-0,565, 0,1230-0,1250, 0,1628-0,1652, 0,2105-0,2155 μm , respectivamente) (COURA, 2007).

O sensor MODIS corresponde ao principal instrumento do EOS (*Earth Observing System*) o qual está presente em ambas as plataformas deste sistema: Terra e Aqua. A primeira plataforma do sistema EOS foi nomeada de Terra, lançada em 18 de dezembro de 1999 e inicialmente conhecida como EOS-AM, por fazer observações no período matutino (passa pelo Equador aproximadamente às 10h30). A segunda plataforma do sistema EOS é a Aqua, lançada em 4 de maio de 2002, conhecida inicialmente como EOS-PM (passa pelo Equador aproximadamente às 13h30), por fazer observações no período vespertino (SOARES, BATISTA e SHIMABUKURO, 2007).

Com as imagens orbitais SRTM e MODIS é possível realizar classificação digital de imagem. A classificação consiste em, a partir dos valores do contador digital de uma imagem em várias bandas, originar uma nova imagem, mais simples, em que cada pixel está associado a uma categoria ou classe (CENTENO, 2004). A classificação digital de imagens pode ser dividida em qualitativa e quantitativa. A fotointerpretação corresponde à classificação qualitativa, em que o intérprete usa um raciocínio lógico, dedutivo e indutivo para compreender e explicar o comportamento de cada objeto na imagem. Já a classificação quantitativa emprega algoritmos estatísticos, programas computacionais, de reconhecimento de padrões espectrais (MOREIRA, 2011).

Dependendo do algoritmo usado, a classificação é intitulada supervisionada (em que o analista contribui com seu conhecimento a respeito da área para definir as classes de interesse) ou não supervisionada (em que o analista não participa da seleção das classes), envolvendo duas fases distintas: o treinamento e a classificação propriamente dita (CENTENO, 2004).

Os métodos de classificação supervisionada são baseados nos classificadores, que usam as funções estatísticas ou outras regras de lógica para avaliar e comparar as características das reflectâncias espectrais dos pixels com as características de uma determinada classe de padrão, para classificar e delinear as classes das imagens digitais. (LIU, 2007). Os métodos de classificação supervisionada são divididos em paramétricos: Classificador de Máxima Verossimilhança (MAXVER), Distância Mínima, Distância de Mahalanobis, entre outros; e não paramétricos: Árvores de Decisão, Redes Neurais Artificiais (RNA), entre outros.

Uma medida de separação estatística entre padrões de resposta espectral das classes pode ser calculada por meio de uma matriz de confusão, que verifica a precisão do treinamento da classificação (confiabilidade temática). Um parâmetro estatístico comumente utilizado para este fim é a divergência transformada. Em geral, quanto maior for a divergência, o transformado, maior a distância estatística entre os padrões de treinamento e a probabilidade de classificar corretamente as classes (LILLESAND, KIEFER e CHIPMAN, 2008).

O classificador de MAXVER é o método de classificação supervisionada mais usado no processo de identificação e delimitação de classes. O MAXVER usa um pixel associado com o vetor X que define os atributos observados. Cada amostra de treinamento é representada por pixels com reflectância distinta e área de referência dos

níveis de cinza de uma determinada classe. O resultado é melhor quanto maior o número de pixels em uma amostra de treinamento para implementá-los na matriz de variância e covariância (LIU, 2007).

De acordo com Centeno (2004), o método de classificação da Distância Mínima utiliza a decisão a respeito da classe mais provável, tomada na base da distância espectral (diferença espectral) entre as leituras do pixel e o vetor de médias da classe. Se o pixel for igual à média de uma classe, então a distância espectral entre o pixel e esta classe será nula. Quanto maior a distância entre o pixel e a classe, maior será esta distância. Comparando os valores das distâncias, uma decisão é tomada, classificando o pixel como membro da classe mais contígua.

A classificação pela Distância de Mahalanobis utiliza uma medida estatística introduzida em 1936 por Prasanta Chandra Mahalanobis. Nesse método é levada em consideração e incluída em seu cálculo de distância, a provável dispersão de dados quando comparados entre as bandas e a correlação entre as bandas, diferentemente do método da Distância Mínima (CONEGLIAN, LA SCALEA e RIBEIRO, 2009).

Inspirados nos neurônios humanos, as RNA (Redes Neurais Artificiais) buscam realizar uma aproximação do processamento computacional ao do nosso cérebro, são consideradas uma evolução dos sistemas de inteligência artificial. Funcionam como a estrutura cerebral humana, utilizam milhares de pequenas unidades de processamento, ou módulos, que recebem e transmitem informações para o sistema como um todo (FITZ, 2008).

Essas redes procuram, assim, simular a estrutura cerebral humana mediante conexões (unidades de processamento, ou “neurônios”), permitindo aplicações como o reconhecimento, a classificação e a correção de padrões em uma imagem. As redes neurais são adequadas para realizar buscas, de apreender pela experiência, de descobrir novos caminhos e soluções, de realizar certas associações e generalizações, além de abstrair determinadas características ligadas a um padrão específico, para transformá-las em informações consistentes e com bom grau de confiabilidade. Esse sistema artificial de neurônios possui verdadeiras sinapses mediante estímulos externamente recebidos. Sendo treinados para trabalhar por meio de padrões preconcebidos. As RNA podem ser utilizadas para realizar tarefas como a classificação de uma imagem, a partir do reconhecimento de pixels que traduzem a realidade do padrão selecionado (FITZ, 2008).

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Estado do Paraná está localizado na região sul-brasileira, entre as latitudes de 22° 29' 30''S na cachoeira Saran Grande no rio Paranapanema e 26° 42' 59''S nas nascentes do rio Jangada, numa extensão maior a 468 km em direção norte-sul, e entre as longitudes a oeste de *Greenwich* de 48° 02' 24''O no rio Ararapira e 54° 37' 38''O na Foz do Iguaçu, ultrapassando 647 km leste-oeste. Faz limites ao norte com o Estado de São Paulo, a leste com a orla do Oceano Atlântico, ao sul com o Estado de Santa Catarina e a oeste com o Estado do Mato Grosso do Sul, com o Paraguai e a Argentina (MAACK, 1981). A Floresta Ombrófila Densa (FOD) (Floresta Atlântica) está localizada na porção leste do Paraná.

A caracterização da FOD está baseada no Manual Técnico da Vegetação Brasileira do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1992).

O termo Floresta Ombrófila Densa (FOD), nomeado por Ellemberg & Mueller-Dombois (1965/6) apud IBGE (1992), substituiu Pluvial (de origem latina) por Ombrófila (de origem grega), ambos com o mesmo significado “amigo das chuvas”. Além disso, utilizaram pela primeira vez os termos Densa e Aberta como divisão das florestas na zona intertropical, muito embora este tipo de vegetação seja conhecido também pelo nome original dado por Schimper (1903) apud IBGE (1992) e reafirmado por Richards (1952) apud IBGE (1992) de “Floresta Pluvial Tropical”.

Este tipo de vegetação é formado por fanerófitos, na maioria das vezes pelas subformas de vida macro e mesofanerófitos, além de lianas lenhosas e epífitos em abundância que o diferenciam das outras classes de formações. No entanto, sua característica ecológica principal reside nos ambientes ombrófilos que marcam muito bem a “região florística florestal”. Desta forma, a característica ombrotérmica da FOD está presa aos fatores climáticos tropicais de altas temperaturas (médias de 25°C) e de acentuada precipitação, bem distribuída durante o ano (de 0 a 60 dias secos), o que acarreta uma situação bioecológica praticamente sem período biologicamente seco. Dominam os ambientes desta floresta os latossolos com características distróficas e raramente eutróficas, originados de diversos tipos de rochas desde as cratônicas (granitos e gnaisses) até os arenitos com derrames vulcânicos de variados períodos geológicos.

Tal tipo vegetacional foi subdividido em cinco formações classificadas segundo a hierarquia topográfica, que refletem fisionomias diferentes, de acordo com as variações ecotípicas resultantes de ambientes diferenciados, variando de 1°C para cada 100 metros de altitude.

As observações realizadas por meio dos levantamentos realizados pelo projeto RADAM BRASIL, nas décadas de 70 e 80, e os estudos fitogeográficos mundiais, confiáveis, iniciados por Humboldt em 1806 na Ilha de Terenife, inseridos na vasta bibliografia consultada, permitiram estabelecer faixas altimétricas variáveis conforme as latitudes que se estreitavam de acordo com os seguintes posicionamentos:

Formação Aluvial: não varia topograficamente e possui ambientes repetitivos nos terraços aluviais dos flúvios.

Formação das Terras Baixas: corresponde a altitude de 5 a 100 metros, quando situada entre 4° de latitude Norte e 16° de latitude Sul; de 5 a 50 metros, situada entre 16° e 24° de latitude Sul; de 5 a 30 metros, quando inserida entre 24° e 32° latitude Sul.

Formação Submontana: situada nas encostas dos planaltos e/ ou serras, a partir de 100 até 600 metros entre 4° latitude Norte e 16° latitude Sul; de 50 a 500 metros, entre 16° e 24° de latitude Sul; e de 30 até 400 metros, entre 24° e 32° de latitude Sul.

Formação Montana: situada no alto dos planaltos e/ou serras, de 600 até 2000 metros entre 4° latitude Norte e 16° latitude Sul; de 500 até 1500 metros, entre 16° e 24° de latitude Sul; de 400 até 1000 metros, entre 24° e 32° latitude Sul.

Formação Altomontana: situada acima dos limites estabelecidos à formação montana.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Imagem do sensor MODIS/Aqua, *tile* h13v11, produto MYD09A1 do dia 01 de maio de 2011, adquirida gratuitamente via internet no formato hdf do site <<http://wist.echo.nasa.gov/api/>>.
- Vinte e duas imagens referentes ao MDE (SRTM) em formato Geo TIFF, obtidos gratuitamente do site <[http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/Geo TIFF/](http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/Geo%20TIFF/)>.
- Arquivos vetoriais referentes a vegetação, hidrografia, geomorfologia, uso do solo e divisas municipais do Estado do Paraná fornecidos pelo ITCG.
- Utilizaram-se os seguintes mapas do Estado do Paraná: Cobertura Vegetal Remanescente (2005 – 2008) do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES – 2010); Formações Fitogeográficas (2009) e Uso do Solo (1989 – 1990) do Instituto de Terras Cartografia e Geociências (ITCG – 2008).
- Manual Técnico da Vegetação Brasileira do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).
- *Softwares:* ArcGIS 9.3 e Envi 4.4.

3.2 Métodos

Trabalhou-se com a imagem MODIS/Aqua, *tile* h13v11 referente ao Estado do Paraná, resolução espacial de 500 metros em formato hdf, no programa Envi 4.4, sendo que foram realizados os seguintes processamentos digitais: selecionou-se as sete bandas espectrais correspondentes respectivamente ao vermelho, infravermelho próximo, azul, verde e as três últimas bandas ao infravermelho médio. Adotou-se o sistema de Projeção UTM, o Datum SAD 69 e a Zona 22 do Hemisfério Sul. Os arquivos vetoriais referentes à hidrografia e geomorfologia (este último contendo as áreas urbanas) disponibilizados gratuitamente pelo ITCG serviram de base para realizar a transformação geométrica, sendo que foram coletados 56 pontos de controle e ao final a imagem foi rotacionada, transladada e corrigida geometricamente.

Realizou-se um mosaico no programa Envi 4.4 com as 22 imagens em formato Geo TIFF e com resolução espacial de aproximadamente 30 metros (os dados originais possuíam uma resolução espacial de 90 metros, porém o INPE realiza técnicas matemáticas e computacionais para que a resolução espacial seja de 30 metros) referentes à altimetria do Paraná (SRTM). Com as imagens mosaicadas, realizou-se um processamento em que os pixels passaram de 30 metros passaram de 30 para 500 metros e adotou-se o sistema de Projeção UTM, o Datum SAD69 e a Zona 22 do Hemisfério Sul.

O recorte do Estado do Paraná em concordância com arquivo vetorial adquirido da página do ITCG foi realizado no programa ArcGis 9.3 mediante um *buffer*, que é o contorno (em formato shp, shx e dbf) ao redor do vetor das divisas municipais do Estado do Paraná contendo 9.000 metros, somente externo. Com este arquivo (*buffer*) aberto no programa Envi 4.4 gerou-se uma “máscara” para servir de base para o recorte de bandas da imagem MODIS e da banda espectral da SRTM. Após as bandas espectrais serem recortadas e devido as sete bandas da imagem MODIS e a banda da SRTM possuírem o mesmo tamanho de pixel (500 metros), projeção, datum e estarem situadas na mesma zona foi possível salvá-las no mesmo arquivo em formato ENVI *Standard*.

A metodologia que será descrita abaixo se refere à área em que se encontra a FOD e uma porção do Oceano Atlântico. No programa ArcGIS 9.3 realizou-se um recorte na FOD que corresponde a criação de um arquivo em formato vetorial (shp, shx e dbf) que abrange o contorno desta floresta mais uma porção do Oceano Atlântico. Este arquivo vetorial foi exportado para o programa Envi 4.4 sendo que a partir dele gerou-se uma “máscara” que serviu de base para recortar as oito bandas espectrais (MODIS e SRTM). A máscara base de recorte para a FOD, as imagens

MODIS e SRTM são apresentadas na Figura 1. O MDE apresentado na figura a seguir apresenta as cores da palheta temperatura, porém corresponde a altitude na imagem, pois foi a melhor combinação de cores para a diferenciação altimétrica

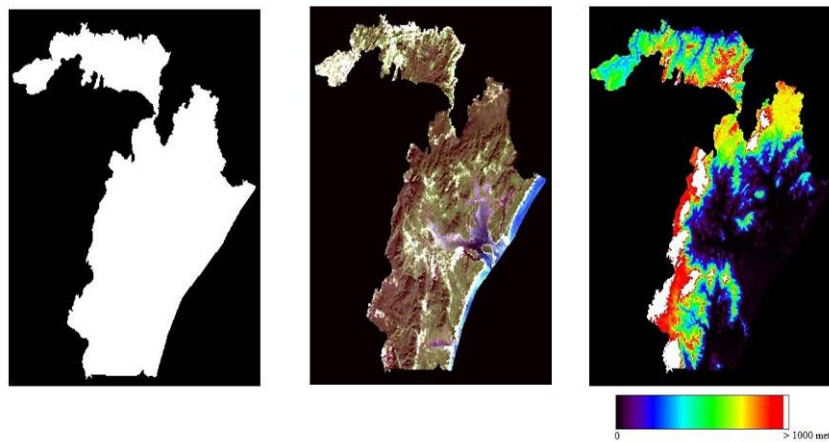


Figura 1 – Máscara, Imagem MODIS (R1G4B3) e MDE, respectivamente, correspondentes a área da FOD do Estado do Paraná.

Posteriormente realizou-se a análise visual de acordo com os Mapas das Formações Fitogeográficas e do Uso do Solo (1989-1990), ambos do ITCG e da Cobertura Vegetal Remanescente (2005-2008) do IPARDES para analisar a área correspondente a FOD. Posteriormente foram criadas seis classes, das quais três referem-se à FOD, sendo que se coletou amostras de treinamento de acordo com a subdivisão trazida pelo Manual Técnico da Vegetação Brasileira do IBGE e aferidos nas amostras pelos dados altimétricos da imagem SRTM. Uniu-se as subdivisões Montana e Submontana devido a resolução espacial da imagem MODIS, facilitando a coleta das amostras desta classe. Além das classes referentes à FOD foram criadas as classes Agricultura e Áreas urbanas (devido a área não apresentar somente a vegetação original da FOD) e Água. Segue as classes que foram criadas.

- FOD (aluvial e terras baixas) – de 5 a 50 metros, situada entre 16° e 24° de latitude Sul; de 5 a 30 metros, quando inserida entre 24° e 32° latitude Sul
- FOD (submontana e montana) – submontana: de 50 a 500 metros, entre 16° e 24° de latitude Sul; e de 30 até 400 metros, entre 24° e 32° de latitude Sul; montana: de 500 até 1500 metros, entre 16° e 24° de latitude Sul; de 400 até 1000 metros, entre 24° e 32° latitude Sul
- FOD (altomontana) – situada acima dos limites estabelecidos à formação montana
- Agricultura
- Água
- Áreas urbanas

Após a coleta das amostras de treinamento, analisou-se a divergência transformada. Posteriormente realizou-se com as bandas da imagem MODIS as classificações paramétricas pelo método da MAXVER, Distância Mínima e Distância de Mahalanobis e pela classificação não paramétrica, RNA- *feedforward backpropagation* em que utilizou as sete bandas espectrais da imagem MODIS e a altimetria da imagem SRTM. No que tange a RNA, testes foram realizados com as bandas espectrais MODIS (7) e com os dados de SRTM (1), combinados. Ainda processou-se experimentalmente testes na configuração da arquitetura da rede em função dos neurônios de entrada (de 1 a 8), camadas intermediárias (1 e 2) e sempre 6 neurônios de saída (classes), erro médio quadrático e funções de transferência tangente e sigmoideal. Em seguida realizou-se uma nova coleta de pixels (amostras de treinamento) referente às classes que compõem a área da FOD, para calcular a matriz de confusão a partir da imagem classificada pelos métodos citados.

Criou-se um projeto em SIG com as imagens, arquivos vetoriais e resultados das classificações, estando prontos para que num futuro se possa confeccionar mapas com os melhores resultados das classificações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores correspondentes à divergência transformada (DT) entre as seis classes que abrangem a área da FOD ficaram próximos ou iguais a 2. Alguns autores consideram que para atingir a separabilidade aceitável é necessário

atingir valores da divergência que se aproximem de 2,0 (CHUVIECO, 1990 apud CENTENO, 2004). O único valor que foi insatisfatório é o que corresponde a interação entre classes da FOD (altomontana) e FOD (montana e submontana) com um valor de 0,79, afirmando que as classes possuem confusão espectral fato este que foi constatado pela coleta das amostras de treinamento, mediante a dificuldade em se ter amostras puras.

Após calcular a divergência transformada entre classes a imagem MODIS foi classificada pelos métodos MAXVER, Distância Mínima e Mahalanobis e a imagem MODIS/SRTM pela RNA. Posteriormente foram coletados novos pixels na imagem referente a cada classe, para verificar os acertos e erros das classificações a partir da matriz de confusão.

Pelo método da MAXVER se obteve um acerto geral de 83,3%. Sendo que para as seguintes classes percentuais de acerto foram: Agricultura 99,33%, Áreas urbanas 97,33%, Água 92%, FOD (altomontana) 63,33%, FOD (aluvial e terras baixas) 90% e FOD (montana e submontana) 59,33%. Entre as classes com menores acertos, nota-se que para a classe FOD (altomontana) houve um erro de omissão e de inclusão de 32% e 33,33% respectivamente, correspondentes a FOD (montana e submontana). Já para a FOD (montana e submontana) houve um erro de omissão e de inclusão de 33,33% e de 32% respectivamente, correspondente a FOD (altomontana).

Pelo método da Distância Mínima o acerto geral foi de 71,4%, sendo que o acerto da classe Agricultura foi de 95,33%, Áreas urbanas 73,33%, FOD (altomontana) 67,67%, Água 100%, FOD (aluvial e terras baixas) 61,33% e FOD (montana e submontana) 32%. Entre as classes com menores acertos, nota-se que para a classe FOD (altomontana) houve um erro de omissão 41,33% correspondente a FOD (montana e submontana) e de inclusão de 12,67% e 20% correspondentes respectivamente, a FOD (aluvial e terras baixas) e FOD (montana e submontana). Já para a FOD (montana e submontana) houve um erro de omissão de 20% e 28% respectivamente, correspondente a FOD (altomontana) e FOD (aluvial e terras baixas).

Pela Distância de Mahalanobis o acerto geral foi de 82,5%, sendo que o percentual de acerto para a classe Agricultura foi de 96%, Áreas urbanas 94%, FOD (altomontana) 63,33%, Água 100%, FOD (aluvial e terras baixas) 90% e FOD (montana e submontana) 52%. Entre as classes com menores acertos, nota-se que para a classe FOD (altomontana) houve um erro de omissão e de inclusão de 37,33% e 33,33% respectivamente, correspondentes a FOD (montana e submontana). Já para a FOD (montana e submontana) houve um erro de omissão e de inclusão de 33,33% e de 37,33% respectivamente, correspondente a FOD (altomontana). A Figura 2 corresponde, respectivamente, as imagens classificadas Por MAXVER, Distância Mínima e Distância de Mahalanobis.

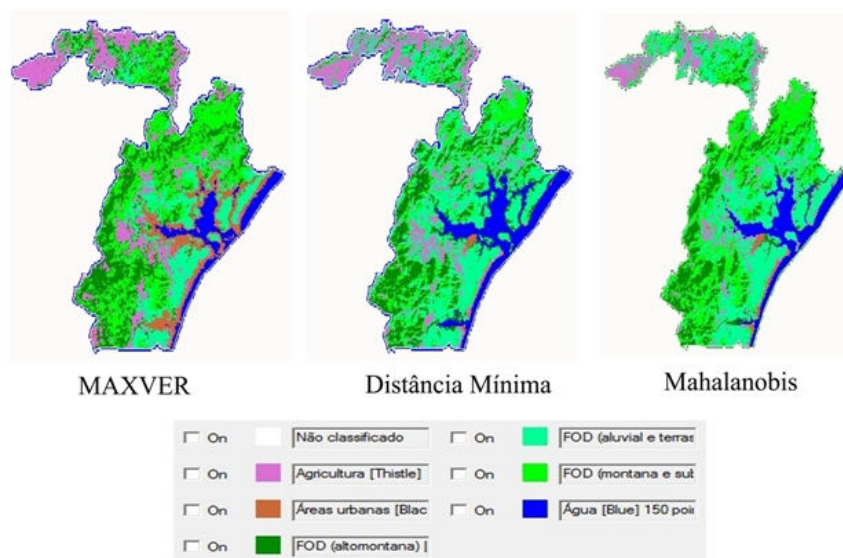


Figura 2 – Imagens classificadas da área correspondente a FOD por diferentes métodos paramétricos de classificação.

Mediante a RNA processou-se as bandas espectrais da imagem MODIS e a banda referente ao SRTM. A arquitetura da RNA que forneceu o resultado adequado quando da matriz de confusão que foi com 8 neurônios de entrada; 1 camada escondida ou intermediária, 6 neurônios de saída, com taxa de treinamento 0,5, aprendizado de 0,1, momento igual a 1, o RMS (erro médio quadrático) de 0,1 e a função sigmóide. Sendo que o acerto geral foi de 86,3%, sendo que o percentual de acerto para a classe Agricultura foi de 86,67%, Áreas urbanas 100%, FOD (altomontana) 94%, Água 99,93%, FOD (aluvial e terras baixas) 38% e FOD (montana e submontana) 100%. A classe com o menor

acerto, a FOD (aluvial e terras baixas) apresentou erro de inclusão de 62% correspondente a FOD (montana e submontana).

Para verificar se o resultado obtido pela RNA está associado a adição da SRTM realizou-se a classificação somente com as bandas espectrais da imagem MODIS. Obteve-se um percentual de acerto geral igual a 65,55%. A taxa de acerto correspondente às classes foi a seguinte: Agricultura 98%, Áreas urbanas 100%, FOD (altomontana) 0%, Água 100%, FOD (aluvial e terras baixas) 0% e FOD (montana e submontana) 100%. Comprova-se que a SRTM é fundamental para diferenciar formações fitogeográficas associadas à altitude. Sendo que 100% da FOD (altomontana e montana) correspondem aos pixels coletados desta amostra, porém sua taxa de abrangência não está associada ao representado na imagem, pois ocupou áreas referentes a FOD (aluvial e montana) e FOD (altomontana), sendo que a FOD (altomontana) e a FOD (aluvial e terras baixas) apresentaram erros de inclusão de 100%, correspondentes a FOD (montana e submontana). Comparando o resultado da RNA com e sem a SRTM, nota-se que a classe Agricultura aumentou seu percentual de 86% para 98%, isto se deve entre outros fatores, ao fato de que para as áreas mais baixas se tem um melhor resultado para a classificação sem a SRTM. A Figura 3 corresponde, respectivamente, ao resultado das imagens classificadas em que se utilizou as sete bandas espectrais da imagem MODIS mais a SRTM e a classificação somente com as bandas espectrais da imagem MODIS.

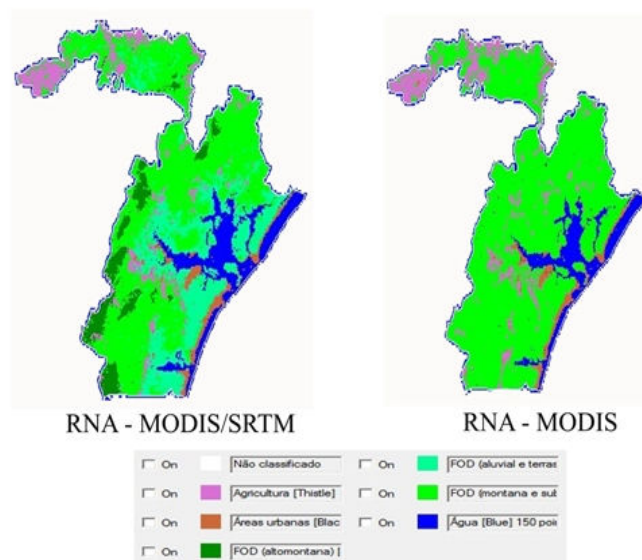


Figura 3 – Imagens classificadas por método não paramétrico de classificação.

A análise a seguir não levou em consideração o resultado obtido pela classificação por RNA (somente com a imagem MODIS), pois teve somente um resultado para a FOD em suas subdivisões. Após analisar os resultados obtidos pelos diferentes métodos de classificação verificou-se que o melhor resultado geral obtido para classificar a área correspondente a formação fitogeográfica denominada FOD foi pela Rede Neural Artificial (MODIS/SRTM) com um acerto total de 86,6% e o resultado menos satisfatório foi obtido pelo classificador Distância Mínima com um acerto total de 71,4%. O melhor resultado obtido para FOD (aluvial e terras baixas) foi de 90% pelo classificador MAXVER e Mahalanobis, sendo que o menos satisfatório foi pela RNA com um acerto de 38%. A FOD (montana e submontana) teve melhor resultado pela RNA com um acerto de 100% e o menor pela Distância Mínima com um acerto de 32%. A FOD (altomontana) teve melhor resultado pela RNA com um acerto de 94% e menos satisfatório com um acerto de 82,5% por MAXVER e Mahalanobis. O melhor resultado para Agricultura foi o obtido por MAXVER com um acerto de 99,33% e o menor por RNA com 86,6%. A classe Áreas urbanas teve melhor resultado pela RNA com acerto de 100% e menor resultado pela Distância Mínima com acerto de 73,33%. A Água alcançou 100% de acerto pela Distância Mínima e Distância de Mahalanobis e menor resultado por MAXVER com acerto de 92%. O percentual de omissão e de inclusão apresentado nas classificações por MAXVER, Distância Mínima e Mahalanobis, entre as classes FOD (altomontana) e FOD (montana e submontana) está associado a dificuldade de se coletar amostras de treinamento, devido a reflectância ser semelhante entre as mesmas, fato que com a classificação por RNA (pela altitude) este valor se reduziu, pois a altitude é o que diferencia a formação fitogeográfica mencionada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de imagens espaciais é um recurso adequado para realizar trabalhos geográficos para fins de mapear a vegetação. A imagem MODIS referente a reflectância da superfície é um recurso adequado para fazer análises gerais que envolvem áreas com grandes extensões, como a área corresponde a FOD do Estado do Paraná. A partir dela pode-se realizar estudos mais pontuais, buscando para isto imagens com maiores resoluções espaciais. Outro ponto positivo é que as imagens MODIS de alta resolução temporal são atuais (sendo que neste trabalhou-se com uma imagem do ano de 2011) e por possuir sensores em duas plataformas (Terra e Aqua), disponibilizando imagens do período da manhã e tarde.

Os dados altimétricos são necessários para a realização de diversos trabalhos na área de geociências associados à geologia, geomorfologia, hidrologia, biogeografia, entre outros, como por exemplo, a geração de produtos tridimensionais para a representação de áreas susceptíveis a movimentos de massa, redes de drenagem, divisores d'água, entre outros. Uma solução para a confecção de produtos associados às áreas citadas são os dados altimétricos SRTM, provenientes de sensoriamento remoto ativo (RADAR), disponíveis gratuitamente pelo INPE. Neste trabalho, mediante os dados SRTM foi possível diferenciar a altitude da FOD, o qual auxiliou nas classificações paramétricas e foi fundamental para alcançar o resultado esperado na classificação não paramétrica com a junção das imagens MODIS/SRTM, mediante RNA.

A RNA foi o melhor classificador para subdividir a FOD a partir da junção MODIS/SRTM de acordo com as diferentes altitudes mencionadas pelo IBGE, principalmente nos intervalos entre as áreas Submontanas, Montanas e Altomontanas. Acredita-se que, com imagens de melhor resolução espacial será possível subdividir na classificação todos os intervalos correspondentes e não precisará agrupá-los em uma mesma classe (como foi entre a subdivisão montana e submontana) e a FOD (aluvial e terras baixas) apresentará um melhor resultado com a RNA, por possuir maiores informações da área. Para classificar a FOD (aluvial e terras baixas) a partir de imagem MODIS os melhores classificadores são a MAXVER e Distância de Mahalanobis.

A realização de diferentes tipos de classificações supervisionadas em imagens de satélite é fundamental para comparar os melhores resultados, sendo que estes servem como base para confeccionar produtos cartográficos. A checagem com produtos já existentes (como os mapas) e as pesquisas em campo fornecem maior confiabilidade a representação espacial do fenômeno que se deseja representar.

REFERÊNCIAS

BARROS, R. S. **Avaliação de Modelos Digitais de Elevação Obtidos Através de Sensores Orbitais**. 2006. 172 f. Tese (Programa de pós-graduação em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford University Press, 2004. 333 p.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais**. Curitiba – PR: Ed. Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, 2004, 219 p.

CONEGLIAN, F. M.; LA SCALEA, R. A.; RIBEIRO, S. R. A. Comparação entre classificações supervisionadas em uma imagem CBERS – CCD com bandas multiespectrais e em uma imagem fusão, da mesma imagem CBERS – CCD com uma banda pancromática HRC. In: ENCONTRO PARANAENSE DE ESTUDANTES DE GEOGRAFIA, 14. (EPEG), 2009, Guarapuava. *Anais...* Guarapuava, 2009. Disponível em: <http://anais.unicentro.br/epg2009/pdf/trabalho_63.pdf>. Acesso: 25 de out. 2011.

COURA, S. M. da. C. Mapeamento de vegetação do Estado de Minas Gerais utilizando dados MODIS. 2007. 129 f. São José dos Campos. Dissertação – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007. Disponível em: <<http://eco.ib.usp.br/lepac/bie5759/publicacaoINPE.pdf>>. Acesso em: 19 abr.2011.

FELGUEIRAS, C. A. Análises sobre Modelos Digitais de Terreno em Ambiente de Sistemas de Informação Geográfica. In: Simpósio Latino americano de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, 7, 1997, Mérida. Seção Pôster. Caracas: SELPER/Unidade Técnica de Sistemas. Instituto de Ingeniería. 1997. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/~carlos/trab_cientific/selper8f.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2011.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, 160 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92p. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/38105021/IBGE-Manual-Tecnico-Da-Vegetacao-Brasileira-n-1>>. Acesso em: 03 mai. 2011.

INSTITUTO DE TERRAS CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS – ITCG. Mapa das Formações Fitogeográficas do Estado do Paraná (2009). Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Fitogeografico_A3.pdf>. Acesso: 12 mar. 2011.

_____. Mapa de Uso do Solo do Estado do Paraná (1989-1990). Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Fitogeografico_A3.pdf>. Acesso: 12 mar. 2011.

IPARDES. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico de Social. Mapa da Cobertura Vegetal Remanescente – Paraná (2005 – 2008). Disponível em: <<http://www.ipardes.gov.br/>>. Acesso: 12 mar. 2011.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução de José Carlos Neves Epiphânio. São José dos Campos: Parêntese, 2009, 598 p.

LILLESAND, M. L.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpretation. Remote sensing and image interpretation**. 6 ed. New York: Wiley, 2008. 770p.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Uniderp, 2007, 908 p.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 2 ed. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1981, 450 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4. Ed. Viçosa: Ed. UFV, 2011. 422 p.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. **Shuttle Radar Topography Mission – SRTM**. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>. Acesso em: 08 mar. 2011.

SOARES, J. V.; BATISTA, G. T.; SHIMABUKURO, Y. E. Histórico e descrição. In: RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. **O Sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. 1. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2007. cap. 1. p. 3-21.