

## Avaliação de métodos de classificação supervisionada para o mapeamento da cobertura vegetal nativa da Área de Proteção Ambiental Fernão Dias a partir de imagem Landsat

Ana Isabel Pasztor Moretti<sup>1</sup>  
Marcos César Ferreira<sup>1</sup>  
Eliana Corrêa Aguirre de Mattos<sup>1</sup>  
Gracieli Trentin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP  
Caixa Postal 6152 - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil  
{ana.moretti, macferre, emattos, gracieli}@ige.unicamp.br

**Abstract.** The loss of biodiversity is highly influenced by forest fragmentation, caused by the replacement of native vegetal coverage for urban, industrial, pasture and agriculture areas. The identification and classification of forest fragments are important for its conservation, monitoring and for support actions of environmental planning. In this context, the aim of this work is to map the forest fragments of APA Fernão Dias from two supervised classification methods of remote sensing images: the Maximum Likelihood and the one based on fuzzy logic. The Maximum Likelihood, a boolean method, considers the balance of averages distances from statistical parameters and the classification result is presented in the form of polygons with sharp boundaries between different land uses. The other one, based on fuzzy logic, does not have sharply defined boundaries and an element may have partial and multiple membership, providing a better representation for geographical phenomena that cannot be described by a single attribute. Resulting images of both methods showed that APA Fernão Dias has significant forest coverage area. The classified image resulted of Maximum Likelihood showed that the semideciduous forest covered the largest area (18,14%) and is distributed throughout APA and around of the tropical rain forest fragments, in its lowest altitudes. The classified image resulted of the method based on fuzzy logic attributed a larger number of pixels with possibility to belong to the tropical rain forest (28,57%) and revealed the transition zone of tropical rain forest to the semideciduous forest, representing the reality of APA Fernão Dias more efficiently.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, forest surveys, sensoriamento remoto, processamento de imagens, levantamentos florestais.

### 1. Introdução

Como consequência, principalmente, de ações antrópicas, a cobertura vegetal natural é substituída por áreas urbanas, industriais e agrossilvopastoris e reduz-se a fragmentos florestais com distintos tamanhos e padrões espaciais. A fragmentação florestal é uma das causas de maior impacto para a perda de biodiversidade (Collinge, 1996; Tabarelli et al., 1999), pois contribui para a extinção de espécies da fauna e flora nativas, invasão de espécies exóticas que interferem nas relações de competição e predação, e para mudanças de efeitos estruturais, como aumento da temperatura, da claridade e da velocidade do vento e diminuição da umidade (Collinge, 1996).

O crescente processo de urbanização na Área de Proteção Ambiental (APA) Fernão Dias, somado ao aumento da demanda turística e da especulação imobiliária, às atividades agropecuárias e industriais não sustentáveis e à silvicultura (Hoeffel et al., 2008), fazem com que a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos sejam comprometidos e que o processo de fragmentação dos remanescentes florestais da Mata Atlântica sejam intensificados.

A identificação e classificação dos fragmentos florestais são importantes para sua conservação e monitoramento, bem como para dar suporte a ações de planejamento ambiental. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa é realizar o mapeamento dos fragmentos de florestas nativas existentes na APA Fernão Dias a partir de dois métodos de classificação supervisionada: o método da Máxima Verossimilhança (MaxVer) e o método de decisão *fuzzy*.

Para a realização da classificação supervisionada, é necessário um conhecimento prévio da área de estudo para que cada classe espectral de interesse possa ser descrita a partir de amostras de treinamento (Novo, 2008). O MaxVer, amplamente utilizado na classificação de imagens de sensoriamento remoto, considera a ponderação das distâncias das médias a partir de parâmetros estatísticos e requer um número elevado de pixels para cada conjunto de treinamento, preferencialmente acima de uma centena, a fim de fornecer uma base segura para o tratamento estatístico (Crósta, 1992).

No MaxVer, assim como em outros métodos de classificação de imagens de sensoriamento remoto, a informação é representada pela lógica booleana, na qual cada pixel pertence, ou não, a uma classe. Entretanto, um pixel pode representar uma mistura de distintas coberturas, condições intermediárias ou outros padrões complexos de cobertura que não devem ser definidos somente por uma classe. A teoria do conjunto *fuzzy* pode oferecer uma melhor representação dos fenômenos geográficos, pois em uma representação *fuzzy*, cada pixel possui a ele agregado graus de adesão, os quais indicam a medida que o pixel pertence a determinada classe (Wang, 1990).

Os limites dos polígonos nos mapas temáticos, convencionalmente considerados como uma linha que representa o limite abrupto entre os fenômenos passam, na representação *fuzzy*, a descrever não só a localização, mas também a taxa de mudança de fenômenos geográficos. Desta maneira, a representação *fuzzy* pode contribuir para melhorar a exatidão do processamento e a interpretação visual, podendo também ser utilizada para mapear zonas de transição (Wang e Hall, 1996).

## 2. Metodologia

### 2.1 Área de estudo

A APA Fernão Dias é uma unidade de conservação de uso sustentável localizada no estado de Minas Gerais (Figura 1). Sua criação pelo decreto estadual nº 38.925 de 17 de julho de 1997 teve origem no processo de licenciamento ambiental do projeto de duplicação da rodovia Fernão Dias (BR-381), por sugestão expressa nos estudos de impacto ambiental da obra. Na APA Fernão Dias, que possui área total de 180.373 ha, encontram-se integralmente os municípios de Camanducaia, Extrema, Gonçalves, Itapeva, Sapucaí-Mirim e Toledo e parte dos municípios de Brasópolis e Paraisópolis (IBITU, 1998).

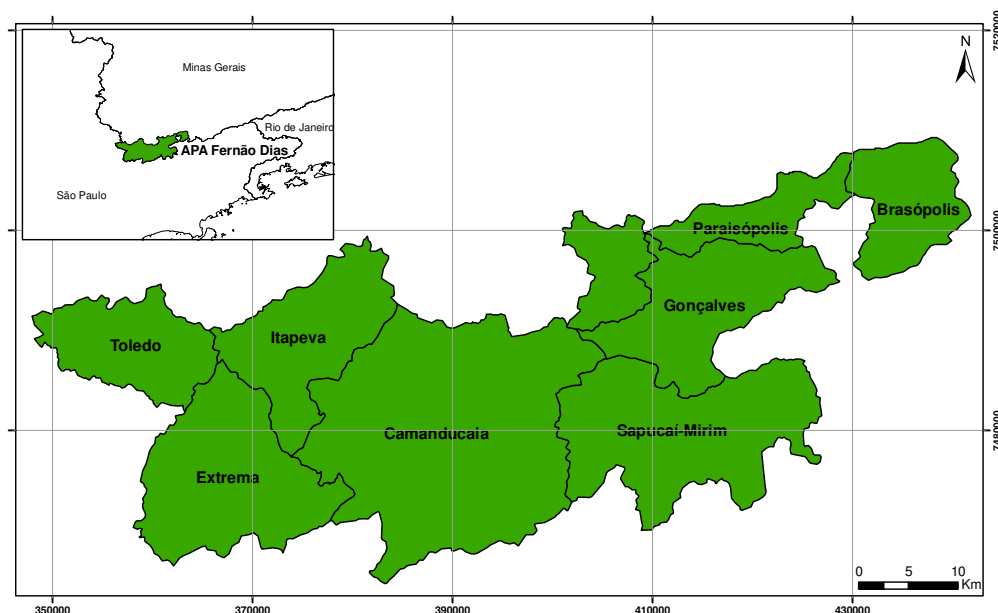


Figura 1. Localização da área de estudo

A cobertura vegetal nativa da APA Fernão Dias é composta, de acordo com a classificação do IBGE (1992), por:

a) *Floresta ombrófila densa* (FOMD): restrita às formações montanas (500 a 1500 m) e altomontanas (acima de 1500 m), predomina na porção centro-leste da APA, rareando-se à medida que se direciona para noroeste, onde ocorre apenas em zonas de micro-climas mais úmidos, a exemplo da Serra do Lopo, em Extrema (IBITU, 1998). É caracterizada por fatores climáticos tropicais de elevadas temperaturas (médias de 25°C) e de alta precipitação bem distribuída durante o ano (de 0 a 60 dias secos) (IBGE, 1992).

b) *Floresta ombrófila mista* (FOMM): nesta formação, a maioria das árvores emergentes é composta por araucárias (*Araucária angustifolia*). Está associada à maior umidade, a temperaturas baixas, a solos profundos e a altitudes elevadas (acima de 900 m) (IBITU, 1998). Sua composição florística sugere uma ocupação a partir de refúgios altomontanos, como os situados na serra da Mantiqueira (IBGE, 1992).

c) *Floresta estacional semidecidual* (FESD): condicionada pela dupla estacionalidade climática, é caracterizada pela caducifolia em 20 a 50% dos indivíduos durante o período de maior estiagem. Predomina na porção oeste, na região de Toledo, Itapeva e Extrema, nas menores altitudes de Camanducaia, e ao norte da APA, na região de Luminosa (distrito de Brasópolis) e Paraisópolis. É a cobertura vegetal que se encontra mais impactada por situar-se sobre terrenos menos declivosos e em áreas de propriedades agrícolas ou de maior densidade humana (IBITU, 1998).

## 2.2 Procedimento metodológico e materiais utilizados

Para a realização deste trabalho, foi utilizada a imagem do sensor TM do satélite Landsat 5 de 18 de abril de 2010, órbita/ponto 219/76. Os efeitos atmosféricos da imagem foram corrigidos a partir do método da Correção Atmosférica pelo Pixel Escuro (*Dark Object Subtraction*) proposto por Chavez (1998), no *software* ENVI. No *software* Idrisi, foi realizado o georreferenciamento da imagem no sistema de projeção UTM (zona 23S, datum SAD 69), com base em 30 pontos de controle obtidos nas cartas topográficas que compreendem a APA (Munhoz, Cambuí, Extrema, Camanducaia, Paraisópolis, Campos do Jordão, Monteiro Lobato e Tremembé) na escala 1:50.000. A reamostragem foi efetuada por meio do interpolador vizinho mais próximo e o erro médio quadrático foi inferior a 0,5 pixel.

Na etapa seguinte, foi realizada a classificação da imagem Landsat (bandas 1 a 5 e 7) no *software* ENVI a partir do método supervisionado MaxVer. De acordo com as características da área de estudo e com o objetivo proposto, foram estabelecidas inicialmente dez classes para o mapa temático; sete delas foram agrupadas, após a classificação, na classe OUTROS e as classes que representam a cobertura vegetal nativa da APA foram mantidas: *floresta ombrófila densa* (FOMD), *floresta ombrófila mista* (FOMM) e *floresta estacional semidecidual* (FESD). As amostras de treinamento para cada classe foram selecionadas a partir de dados obtidos em trabalhos de campo, realizados nos dias 17 e 18 de abril e 15 e 16 de maio de 2010. O resultado da classificação também foi verificado em trabalho de campo, realizado nos dias 18 e 19 de novembro de 2010.

Cada amostra de treinamento é representada por pixels com reflexão característica e é utilizado como área de referência dos níveis de cinza da classe. O resultado da classificação MaxVer depende da quantidade de pixels presentes em uma amostra de treinamento, a qual será implementada na matriz de covariância. Em razão disto, o método MaxVer deve ser aplicado quando se conhece bem a imagem a ser classificada, para que classes representativas possam ser definidas (Crósta, 1992).

A classificação baseada na lógica *fuzzy* foi realizada no *software* Idrisi para as duas formações florestais com maior abrangência geográfica na APA Fernão Dias: a *floresta ombrófila densa* (FOMD) e a *floresta estacional semidecidual* (FESD). Para as duas classes,

foram criadas as assinaturas espectrais das amostras de treinamento referentes às bandas 1 a 5 e 7 da imagem Landsat a partir do módulo *MakeSIG* do Idrisi.

Após a seleção das amostras de treinamento e a criação de suas assinaturas espectrais, a imagem foi classificada pelo *Fuzzclass* (*Fuzzy Set Membership Classification*), baseado na teoria dos conjuntos *fuzzy*. Este classificador produz, para cada classe de interesse, uma imagem que apresenta a pertinência de cada classe em cada pixel. O conjunto das componentes *fuzzy* é calculado pela Mínima Distância Euclidiana, a partir da qual o valor do pixel (entre 0 e 1) é determinado pela distância entre o seu valor espectral e o valor da média da assinatura da classe. Quanto mais o valor do pixel se afasta da média da assinatura, menor é o seu grau de pertinência na imagem (Alves, 2004).

Para o processamento desta classificação, é necessário informar um valor para o *z-score*. Este valor, definido pelo usuário, depende da qualidade das assinaturas das amostras coletadas e da quantidade de pixels de cada classe. De acordo com Du (2010), os valores adequados para o *z-score* são 1,5 e 2,0. Foram utilizados estes dois valores para classificar a imagem e o que mais se adequou à representação visual das florestas ombrófila densa e estacional semidecidual foi o *z-score* 2,0, pois o valor 1,5 fez com que maior quantidade de pixels fosse descartada.

No *software* Idrisi, foi gerada uma imagem resultante da subtração entre as imagens geradas pelo *Fuzzclass* (uma para cada classe de floresta), cujos valores da função de afinidade  $f$  pertencem ao intervalo  $[-1,1]$ . Na imagem da subtração, os pixels com  $f > 0,0$  pertencem à FOMD e, aqueles com  $f < 0,0$ , à FESD; os pixels  $f = 0,0$  pertencem a outros usos e, os com  $f$  próximos a 0,0 e diferentes de 0,0 representam áreas de transição entre a FOMD e a FESD. A imagem da subtração, que revela a gradação entre as duas florestas, foi reclassificada em cinco novas classes: FESD ( $-0,75 < f < -1,0$ ); FESD ( $0,0 < f < -0,75$ ), FOMD ( $0,0 < f < 0,75$ ), FOMD ( $0,75 < f < 1,0$ ) e a classe “OUTROS” - de acordo com o grau de afinidade de cada pixel em uma das classes.

Com a utilização das cenas S23W046 e S23W047 do ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM), as imagens resultantes das classificações MaxVer e *Fuzzclass* foram representadas, no módulo ArcScene do *software* ArcGIS, em perspectiva 3D.

### 3. Resultados e Discussão

O mapeamento das florestas nativas da APA Fernão Dias realizado a partir do método de classificação supervisionada MaxVer, com as três classes de interesse e a classe que representa os outros usos, é apresentado na Figura 2.

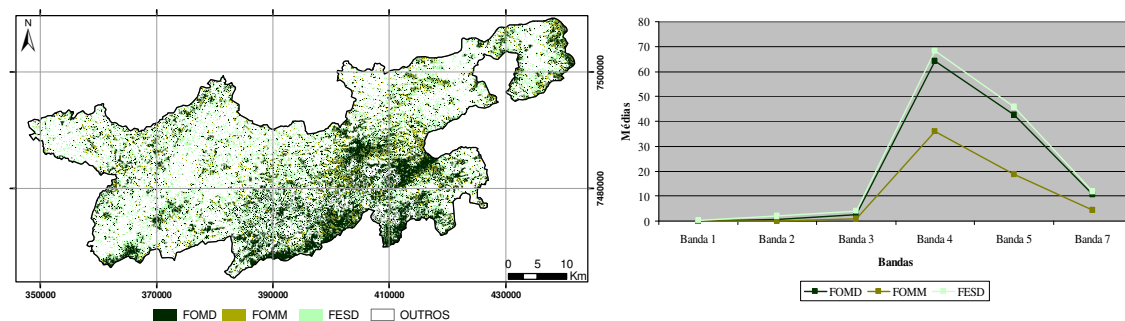


Figura 2. Distribuição da cobertura florestal nativa da APA Fernão Dias resultante da classificação MaxVer.

Na quantificação das formações florestais mapeadas, aquela que apresentou maior percentual de área ocupada na APA foi a FESD, com 331,96 Km<sup>2</sup> representando 18,14% da área de estudo. As formações de FOMD e FOMM apresentaram, respectivamente, 276,31 Km<sup>2</sup> e 77,24 Km<sup>2</sup>, valores que equivalem a 15,1% e 4,22% da APA. A cobertura florestal

nativa da APA Fernão Dias totalizou 37,46% e os demais usos do solo (áreas urbanas, áreas agrícolas, pastagem, silvicultura, afloramentos rochosos, água e solo exposto) totalizaram 62,54% de cobertura total da área de estudo. O valor do coeficiente Kappa para a classificação MaxVer foi de 90,90%.

As médias das assinaturas espectrais das amostras de treinamento de cada classe estão representadas no gráfico da Figura 2. As respostas nas bandas 1 e 2 são semelhantes para todas as formações florestais e, na banda 3, as classes passam a apresentar pequena separabilidade espectral. Nas bandas 4, 5 e 7, o comportamento espectral da FOMM, que apresenta os menores números digitais em todas as bandas da imagem Landsat, se diferencia do das classes FOMD e FESD, as quais apresentam as maiores reflectâncias e comportamento espectral semelhante em todas as bandas.

A partir do resultado desta classificação, constatou-se que a FOMD e a FESD ocupam expressiva área na APA Fernão Dias. A FESD se distribui, na forma de pequenos fragmentos florestais, por toda a área e possui importância significativa no entorno dos grandes fragmentos de FOMD, em suas baixas altitudes.

O resultado da classificação MaxVer é apresentado na forma de polígonos, os quais representam, de forma simplificada e com limites abruptos, os diferentes usos do solo. Devido à necessidade de se obter um mapeamento capaz de classificar estas duas florestas e de também revelar a zona de transição entre as mesmas, foi realizada uma nova classificação da imagem Landsat a partir do *Fuzzclass*, classificador baseado na lógica *fuzzy*, para estas duas classes de interesse. Os resultados desta classificação e do MaxVer, para a FOMD e para a FESD, encontram-se na Figura 3.

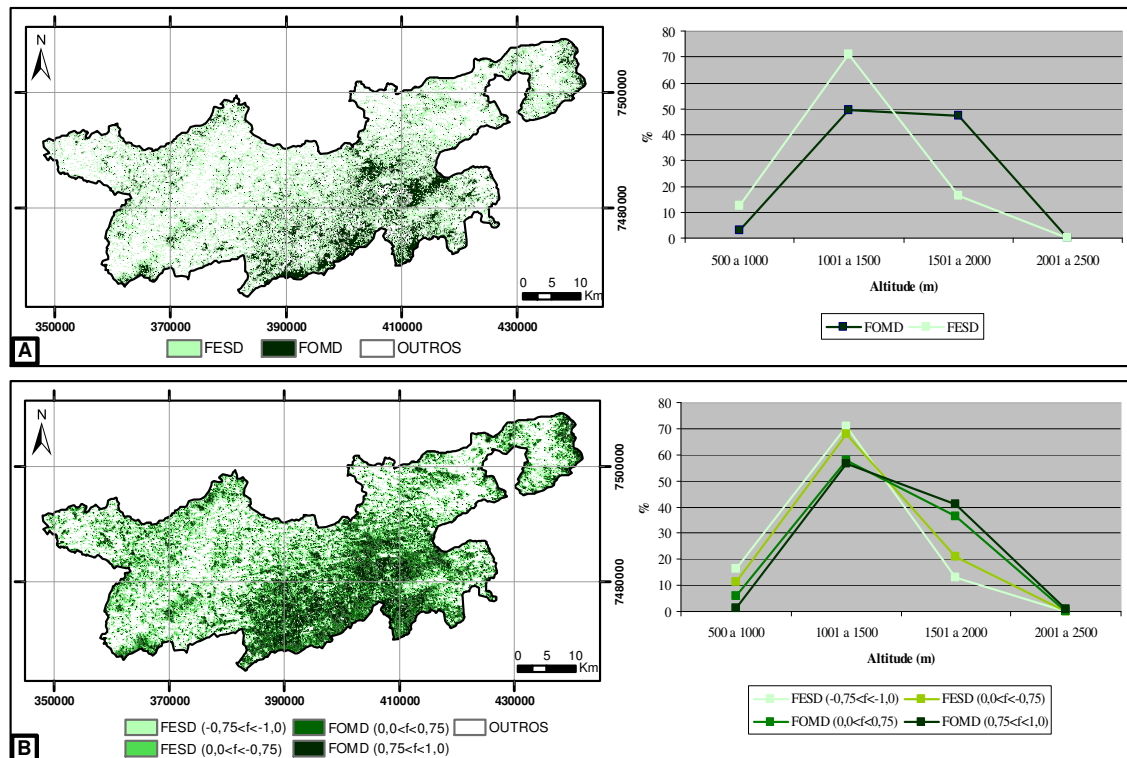


Figura 3. Distribuição da floresta ombrófila densa e da floresta estacional semidecidual na APA Fernão Dias resultante da classificação MaxVer (A) e do método de decisão *fuzzy* (B).

Na quantificação das formações florestais mapeadas por este classificador, os pixels classificados com afinidade  $0,75 < f < 1,0$  para a classe FOMD, representaram a maior

quantidade de área da APA Fernão Dias, com 293,81 Km<sup>2</sup>, ou 16,29% da área total de estudo. Os pixels com  $0,0 < f < 0,75$  da classe FOMD e  $0,0 < f < -0,75$  da classe FESD se distribuem por 221,5 Km<sup>2</sup> e 142,77 Km<sup>2</sup>, compondo 12,28% e 7,92%, respectivamente, e representam uma área de transição entre as duas florestas. Os pixels com afinidade  $-0,75 < f < -1,0$  para a classe FESD se distribuem por 169,83 Km<sup>2</sup>, totalizando 9,42% da área de estudo.

O resultado da classificação com base na lógica *fuzzy*, que revela o grau de afinidade de cada classe em cada pixel, classificou maior área da APA Fernão Dias com possibilidade de pertencer à FOMD (28,57%) e menor área com possibilidade de pertencer à FESD (17,33%), diferentemente do resultado do MaxVer, no qual a FESD ocupa 18,14% da área de estudo e, a FOMD, 15,1%.

A partir das classificações, foi elaborado um gráfico contendo a porcentagem de cada floresta em relação à altitude em que se encontram. Para os dois resultados, constata-se que, nas altitudes menos elevadas (500 a 1500 m), há predomínio da FESD e, nas mais elevadas (1501 a 2500 m), o predomínio da FOMD. Esta distribuição pode ser visualizada nas representações em perspectiva 3D, apresentadas na Figura 4.

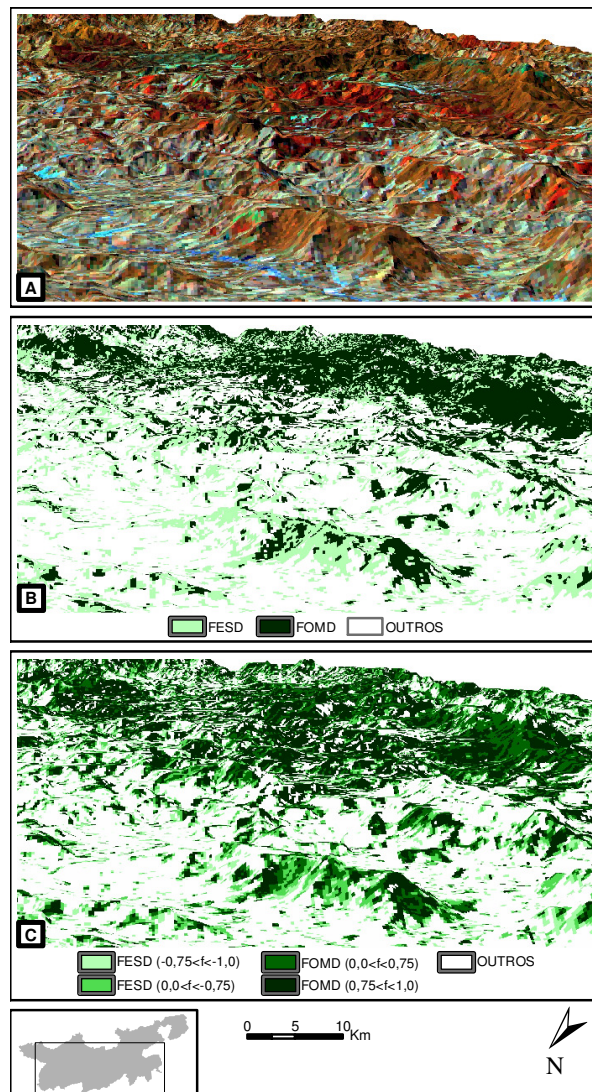


Figura 4. Representação em perspectiva 3D da composição colorida (R4G5B3) da imagem Landsat (A) e da distribuição da floresta ombrófila densa e da floresta estacional semidecidual resultante da classificação MaxVer (B) e do método de decisão *fuzzy* (C). O modelo digital de elevação foi construído a partir de dados do sensor ASTER.

#### 4. Conclusões

A realidade da APA Fernão Dias, entendida a partir dos trabalhos de campo realizados, foi representada de maneira mais eficiente no resultado da classificação com base na lógica *fuzzy*. A imagem Landsat classificada, contendo o grau de afinidade de cada classe em cada pixel, revelou a zona de transição da floresta ombrófila densa para a estacional semidecidual e ressaltou a relação de cada uma delas com a altitude em que se encontram. Além disto, esta imagem ofereceu melhor interpretação visual e reduziu significativamente a perda de informação.

Apesar de diferentes, os resultados das duas classificações revelaram que a APA Fernão Dias possui ainda expressiva área de cobertura florestal, que deve ser monitorada e, seu uso, fiscalizado, a fim de que o impacto das atividades de agricultura, sobretudo, das áreas plantadas com batata e brássicas, de pecuária, de silvicultura e de turismo seja minimizado.

#### Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo financiamento da pesquisa.

#### Referências Bibliográficas

Alves, C. A. Estimativa da área impermeável dentro da bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio (Porto Alegre/RS) através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. 2004. 123p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2004.

Collinge, S. K. Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning. **Landscape and Urban Planning**, v. 36, n. 1, p. 59-77, 1996.

Crósta, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992. 170p.

Du, K.-L. Clustering: a neural network approach. **Neural Networks**, v. 23, p. 89-107, 2010.

Hoeffel, J. L. de M.; Fadini, A. A. B.; Barbosa, J. E. do C.; Fermino, E. da S. Área de Proteção Ambiental (APA) Fernão Dias/MG - transformações socioambientais na bacia hidrográfica do rio Jaguaru. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 3, n. 1, p. 39-60, 2008.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92p.

IBITU Consultoria Ambiental. **APA Fernão Dias - Plano de Gestão Ambiental**. Minas Gerais: IBITU/DER-MG, 1998. 310p.

Novo, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2008. 363p.

Tabarelli, M.; Mantovani, W.; Peres, C. A. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montane Atlantic forest of southeastern Brazil. **Biological Conservation**, v. 91, n. 2-3, p. 119-127, 1999.

Wang, F. Improving remote sensing image analysis through fuzzy information representation. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 56, n. 8, p. 1163-1169, 1990.

Wang, F.; Hall, G. B. Fuzzy representation of geographical boundaries in GIS. **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 10, n. 5, p. 573-590, 1996.