

Segmentação e classificação de dossel florestal em imagens Quickbird

Segmentation and classification of forest canopy in Quickbird images

Priscila Gomes¹
Marcos César Ferreira²
Christel Lingnau³
Edson Bolfe⁴
Marinez Siqueira⁵

Resumo

O objetivo deste trabalho foi testar os métodos de “Segmentação Multi-Resolução” e “Classificação Orientada a Objetos” para a identificação de duas espécies de árvores (*Sclerolobium paniculatum* e *Mabea fistulifera*) presentes em uma área de Cerradão no estado de São Paulo, utilizando imagens do satélite Quickbird combinadas a informações espaciais das espécies. Para isto, o resultado da classificação foi comparado com dados de campo, sendo sua acurácia avaliada através da matriz de confusão e do cálculo do coeficiente Kappa. A identificação das duas espécies pelo método de classificação orientada a objetos foi satisfatória (Kappa superior a 80%). A utilização de um modelo de distribuição potencial de *S. paniculatum* melhorou o resultado da classificação. Estes resultados indicam que, para a formação florestal estudada, a resolução espacial do satélite Quickbird pode ser satisfatória para a identificação de copas de árvores que se destacam no dossel por serem emergentes e/ou apresentarem resposta espectral característica. A baixa resolução espectral

-
- 1 Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Rua Pandiá Calógeras, 51, 13083-870, Campinas, SP, Brasil; e-mail: priscilagomes@gmail.com
 - 2 Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Rua Pandiá Calógeras, 51, 13083-870, Campinas, SP, Brasil; e-mail: macferre@ige.unicamp.br
 - 3 Universidade Federal do Paraná, Depto. de Ciências Florestais. R. Prof. Lothario Meissner, 80210-170, Curitiba, PR, Brasil; e-mail: lingnau@ufpr.br
 - 4 Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Rua Pandiá Calógeras, 51, 13083-870, Campinas, SP, Brasil; e-mail: bolfe@ige.unicamp.br
 - 5 Centro de Referência em Informação Ambiental. Av. Romeu Tórtima 388, 13084-791, Campinas, SP, Brasil; e-mail: marinez@cria.org.br

destas imagens pode ser compensada pelo uso de informações espaciais dos indivíduos de interesse na classificação orientada a objetos.

Palavras-chave: classificação orientada a objetos; copa de árvore; floresta tropical; identificação de espécie; segmentação multi-resolução.

Abstract

The objective of this investigation was to identify two tree species (*S. paniculatum* and *Mabea fistulifera*) within a *Cerradão* (Savanna Forest) area in the state of São Paulo in satellite images. Quickbird images, associated with the species spatial data, were used to implement a multi-resolution segmentation and object-oriented classification approach. Classification accuracy was assessed by comparing our results, from the automated technique, with available field data using the Kappa coefficient. The object-oriented classification results appear to be particularly satisfactory for both species (Kappa > 80%). The *S. paniculatum* probability distribution map improved this classification. The results show that, depending on the forest type and species of interest, the spatial resolution of Quickbird images is sufficient for the identification of individual tree crowns. The low spectral resolution of these images is somewhat compensated by the spatial information available for the species of interest defined in our object-oriented classification.

Key words : multi-resolution segmentation; object-oriented classification; species identification; tree crown; tropical forest.

Introdução

Estudar e monitorar as florestas tropicais em escalas regionais e locais é importante para diversos temas de interesse global, como manejo sustentável de recursos naturais, detecção de impactos de mudanças climáticas e conservação da biodiversidade (READ et al., 2003). Informação sobre cada árvore aumenta o conhecimento da floresta, o que pode ser útil em avaliações de manejo da biodiversidade (ERICKSON, 2004). Entretanto, os métodos tradicionais de levantamento de campo são trabalhosos e dispendiosos, resultando em baixa

cobertura de amostragem e frequência. As técnicas de sensoriamento remoto são potencialmente alternativas de relativo baixo custo ao levantamento de campo. Um método que permita o delineamento e a classificação de copas de árvores em imagens de sensoriamento remoto pode ser um meio efetivo de se atingir tal objetivo (POULIOT et al., 2002).

A análise de copas em imagens digitais requer alta resolução espacial. Para pesquisa com copas de árvores, a alta resolução espacial significa um *pixel* correspondendo no máximo a 1 metro (ERICKSON, 2004). As imagens de

satélite de alta resolução, como o Ikonos (1 m de resolução) e o Quickbird (0,6 m de resolução), podem servir para este fim, mas a exatidão e confiabilidade dos métodos para estes estudos em florestas tropicais ainda estão sendo investigadas.

A primeira dificuldade do estudo de copas de árvores de florestas tropicais está no delineamento das copas. Como as imagens de maior resolução incluem uma quantidade maior de detalhes, não só as copas do dossel superior são mais visíveis, mas também a interferência da refletância da vegetação do sub-bosque. Isto pode gerar dificuldades na separação das espécies de interesse na imagem daquelas que não têm interesse. Mais difícil ainda, é separar duas árvores próximas e que se tocam, já que a distinção entre duas copas é mais difícil do que a separação entre a copa e o fundo (ERICKSON, 2004).

Vencida a etapa de delineamento das copas, a fase seguinte consiste na classificação das mesmas, o que significa reconhecer as espécies das árvores. Estudos recentes com imagens de satélite de alta resolução indicam que a classificação das copas baseada apenas em respostas espectrais não é suficiente para se identificar as árvores da complexa floresta tropical, pelo menos não quando consideradas apenas as poucas bandas das imagens pancromáticas ou multiespectrais (CLARK et al., 2005; PINHEIRO et al., 2004; VENTICINQUE et al., 2004; READ et al., 2003). Outras informações devem ser extraídas dessas imagens para compensar a baixa resolução espectral e aproveitar a sua alta resolução espacial.

READ e colaboradores (2003) acreditam que a combinação entre dados de campo e a análise das características

espectrais e espaciais dos dados de satélite, poderá fornecer informações de grande aplicação em pesquisa e manejo florestal, principalmente no mapeamento de espécies e no estudo da diversidade. O método de classificação orientada a objetos, disponível no programa *Definiens Professional*, surge como uma alternativa para a classificação dessas imagens. Isto ocorre porque este método considera, além do nível de cinza, a forma, a textura e as funções de um sistema de informação geográfica, contribuindo para o estreitamento do uso do geoprocessamento com imagens de sensoriamento remoto (HOFFMANN e VEGT, 2001; HÁJEK, 2005).

O principal objetivo deste trabalho foi testar os métodos de “Segmentação Multi-Resolução” e “Classificação Orientada a Objetos” para a identificação de duas espécies de árvores (*S. paniculatum* e *Mabea fistulifera*) de uma área de Cerradão em imagens de satélite de alta resolução espacial, associadas a dados espaciais das espécies.

Material e Métodos

O trabalho foi realizado na Estação Ecológica de Assis (22°33'65" a 22°36'68"S e 50°23'00" a 50°22'29"W), cuja vegetação se enquadra no conceito de Cerrado, sendo a forma Cerradão a fisionomia predominante. *S. paniculatum* Vog. (Caesalpinaceae) é uma espécie que ocorre em Cerradão e na transição para a Floresta Estacional Semidecidual (DURIGAN et al., 2004). Sua madeira é usada na construção e na produção de carvão vegetal. É uma espécie indicada para uso na recuperação de áreas degradadas. Floresce de dezembro a abril e os frutos

amadurecem de abril a maio (LORENZI, 2002a). Na Estação Ecológica de Assis é uma árvore emergente, que ocorre de forma agrupada e apresenta copas grandes e, por estes motivos, pode ser facilmente foto-identificada e mapeada nas imagens Quickbird.

Mabea fistulifera Mart. (Euphorbiaceae) ocorre no Cerradão e em áreas de transição para a Floresta Estacional Semidecidual dos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, sendo particularmente abundante nas zonas de transição entre os dois tipos de vegetação (DURIGAN et al., 2004). Normalmente é encontrada agregada em bordas de mata e em locais com impacto antrópico acentuado, sendo também recomendada para plantios destinados à recuperação de áreas degradadas. A floração desta planta ocorre de fevereiro a junho, atingindo o pico entre abril e maio (LORENZI, 2002b), período de escassez de alimentos, o que a torna essencial como fonte alternativa de alimento para muitos animais. Na Estação Ecológica de Assis, forma manchas compactas facilmente foto-identificadas nas imagens Quickbird.

As árvores foram identificadas no campo pela Dra. Giselda Durigan, pesquisadora da Estação Ecológica de Assis, Instituto Florestal de São Paulo. Por ocorrerem em áreas de fácil acesso, próximo a estradas ou caminhos, e na maior parte das vezes de forma agrupada, a identificação das espécies na imagem e sua confirmação no campo foram realizadas com relativa facilidade.

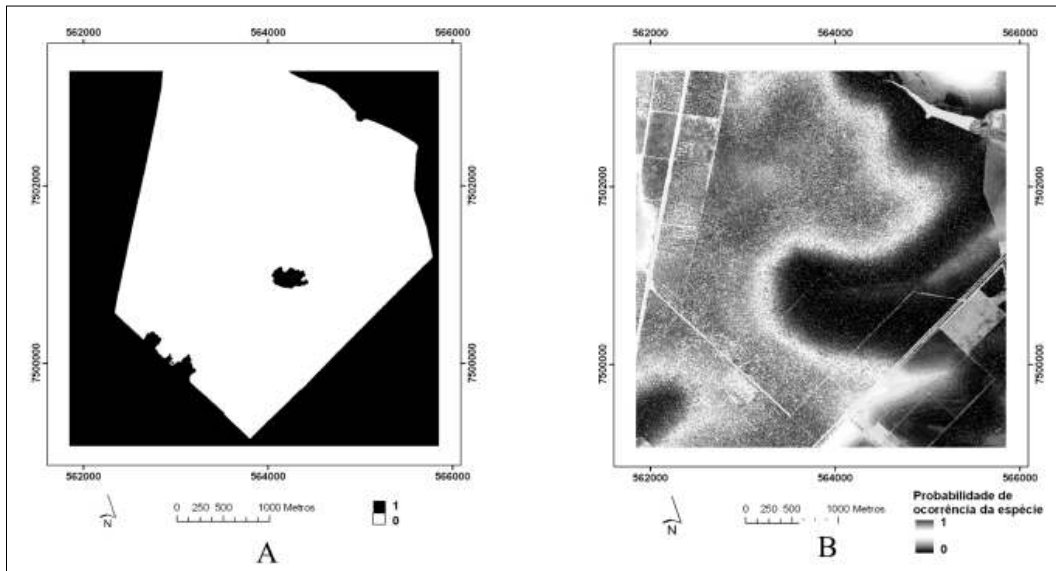
Foram usadas neste trabalho imagens Quickbird no modo pancromático (PAN), com 0,6 m de resolução e, quatro bandas multiespectrais (MS) correspondentes

às bandas no azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, com resolução de 2,4 m. As imagens são do dia 04/07/2006. Uma imagem binária (máscara) delimitando a área de floresta nativa da Estação Ecológica de Assis foi elaborada com o intuito de usar na classificação apenas os objetos que correspondem à área de floresta. (Figura 1A).

Baseado em conhecimento de campo, foi realizada uma fotointerpretação visual para a identificação nas imagens Quickbird dos indivíduos de *S. paniculatum*. Alguns agrupamentos reconhecidos na imagem como sendo da espécie, por comparação com manchas já conhecidas no campo, foram checados em visitas de campo, confirmando a fotointerpretação. Após estas confirmações, foram digitalizadas na imagem as copas que seguramente pertenciam à espécie *S. paniculatum* e pontos onde certamente a espécie não ocorre. Utilizando-se os pontos de presença e ausência dos indivíduos, as imagens índice de vegetação (NDVI) e o modelo digital de elevação da área, foi realizada a modelagem da distribuição potencial da espécie no ambiente computacional *OpenModeller* (SUTTON et al., 2007, SANTANA et al., 2008), utilizando o algoritmo “Máquina de Vetores de Suporte” – SVM (para mais detalhes consultar . O mapa gerado (Figura 1B) foi utilizado como mais uma camada para auxiliar no processo de classificação da imagem no *Definiens Professional*. Esta imagem foi utilizada com o intuito de se agregar à classificação informações espaciais sobre a espécie.

O processamento de imagens no *Definiens Professional* desenvolveu-se, basicamente, seguindo três etapas: (1) segmentação, (2) construção de uma

Figura 1. (A) Mapa binário separando área de floresta (1) das áreas sem floresta (0). (B) Mapa da distribuição potencial de *Sclerolobium paniculatum* na Estação Ecológica de Assis gerada pelo algoritmo SVM (Máquina de Vetores de Suporte)



hierarquia de classes e (3) classificação. A segmentação da imagem foi realizada pelo método de Segmentação Multi-Resolução. As seguintes camadas foram importadas para o programa *Definiens* para a realização do procedimento de segmentação e classificação: (1) imagem Quickbird no modo pancromático (PAN); (2) quatro bandas multiespectrais das imagens Quickbird (MS); (3) mapa binário separando área de floresta das áreas sem floresta (máscara, Figura 1A); (4) mapa da distribuição potencial de *S. paniculatum* (modelo, Figura 1B).

Todas as segmentações foram realizadas baseadas apenas na imagem pancromática, atribuindo-se peso zero para as outras camadas. Desta forma, os objetos criados foram baseados apenas nesta imagem e as outras camadas foram

usadas apenas como informação adicional na classificação. Vários parâmetros foram testados na segmentação, optando-se no final por utilizar no primeiro nível de segmentação um parâmetro escalar 20, na segmentação do segundo nível parâmetro escalar 40 e no terceiro nível o parâmetro escalar 80. Ao final deste processo foram criadas três imagens segmentadas que apresentam distintos tamanhos de objetos. Para todos os níveis de segmentação foi utilizado um critério que privilegiou a homogeneidade da cor dos objetos (0,7) em relação à forma (0,3).

Após a segmentação, foram testadas várias hierarquias de classe. A que apresentou o melhor resultado, por isso utilizada em todos os testes, foi aquela que estabeleceu as super-classes “mata” e “outros” e as sub-classes *M*.

fistulifera, *S. paniculatum* e “outras copas”, como herdeiras da classe “mata”.

Na classificação digital das imagens Quickbird aplicou-se a metodologia de classificação orientada a objetos, realizada pelo software *Definiens Professional* através do classificador por Funções Fuzzy de Pertinência. Neste classificador é necessário estabelecer descritores para a discriminação das classes temáticas. As classes “mata” e “outros” foram separadas utilizando-se apenas a máscara das áreas florestadas (Figura 1A). Para isso, todos os objetos que apresentavam valor 1 para a camada citada foram considerados como “mata” e os que apresentavam valor 0 (zero) considerados como “outros”. Sobre a imagem segmentada no nível 2 (parâmetro escalar 40) foram amostrados alguns objetos que representavam cada uma das três classes do segundo nível hierárquico (*M. fistulifera*, *S. paniculatum* e “outras copas”). As copas foto-identificadas nas imagens Quickbird foram utilizadas para a extração de amostras de treinamento e seus histogramas analisados em relação à resposta espectral nas diferentes bandas, e outros atributos que pudessem diferenciar as classes. Estes histogramas serviram de base para a definição dos parâmetros para as funções de pertinência usadas na classificação.

Foram testados quatro tratamentos nos quais se utilizou informações de diferentes camadas para o estabelecimento das funções de pertinência e testados diferentes parâmetros escalares. No **tratamento 1**, só a média do valor dos pixels dos objetos nas quatro bandas multiespectrais foram usadas para separar as três classes do segundo nível hierárquico, e o parâmetro escalar utilizado foi o 40. No **tratamento 2**, além das bandas

multiespectrais o mapa de distribuição potencial de *S. paniculatum* (Figura 1B) serviu para excluir, na classificação desta espécie, os objetos em que a média de probabilidade de sua ocorrência fosse menor que 0,5, e o parâmetro escalar utilizado foi o 80. Nos tratamentos 3 e 4, as camadas utilizadas foram as mesmas do tratamento 2 (bandas MS e modelo), mas os parâmetros escalares utilizados foram 40 (**tratamento 3**) e 20 (**tratamento 4**).

As classes geradas foram comparadas com a verdade terrestre e a avaliação da exatidão da classificação digital foi realizada por meio da matriz de confusão e pelo cálculo do coeficiente Kappa ($K = [Po - Pc] / [1 - Pc]$; onde: Po = proporção de unidades que concordam plenamente e Pc = proporção de unidades que concordam por casualidade). Os erros de omissão e comissão foram calculados para se conhecer quais espécies apresentam melhores resultados quanto à sua identificação. Os resultados da acurácia da classificação nos diferentes tratamentos foram comparados através da análise de variância (ANOVA).

Como os dados de campo eram restritos às áreas de ocorrência das espécies, optou-se por realizar a avaliação da classificação somente nestas áreas. Para isto, foram delimitadas sub-áreas na imagem, que contém pontos de localização das espécies em campo (Figura 2). Dentro destas sub-áreas, foram digitalizadas no ArcGis pontos centralizados nas copas de *S. paniculatum*, distribuídos nas manchas de *M. fistulifera* (as copas desta espécie não são bem distinguíveis na imagem como as de *S. paniculatum*, mas sim o agrupamento compacto das suas árvores) e distribuídos pelas copas de outras

árvores que sabidamente não pertenciam a nenhuma das duas espécies. Esses pontos foram utilizados na elaboração da matriz de confusão.

Resultados e Discussão

Os mapas de distribuição espacial das espécies *S. paniculatum* e *M. fistulifera* gerados pela classificação da imagem da Estação Ecológica de Assis são apresentados a seguir (Figura 3).

Na avaliação dos parâmetros escalares utilizados (tratamentos 2, 3 e

4), o que apresentou melhor resultado foi o 40 (tratamento 3; Figura 3C, Tabela 1), apesar desta diferença não ter sido significativa (ANOVA, $p=0,40$);). Quanto à comparação entre os tratamentos 1 (sem o mapa de distribuição potencial de *S. paniculatum*) e o tratamento 3 (com o referido mapa), não foi encontrada uma diferença significativa entre eles (ANOVA, $p = 0,89$) (Tabela 1). Isso indica que, pelo menos nas sub-áreas analisadas, só as bandas multiespectrais (tratamento 1) são suficientes para a boa separação entre as classes.

Figura 2. Sub-áreas delimitadas na imagem para a avaliação da qualidade da classificação

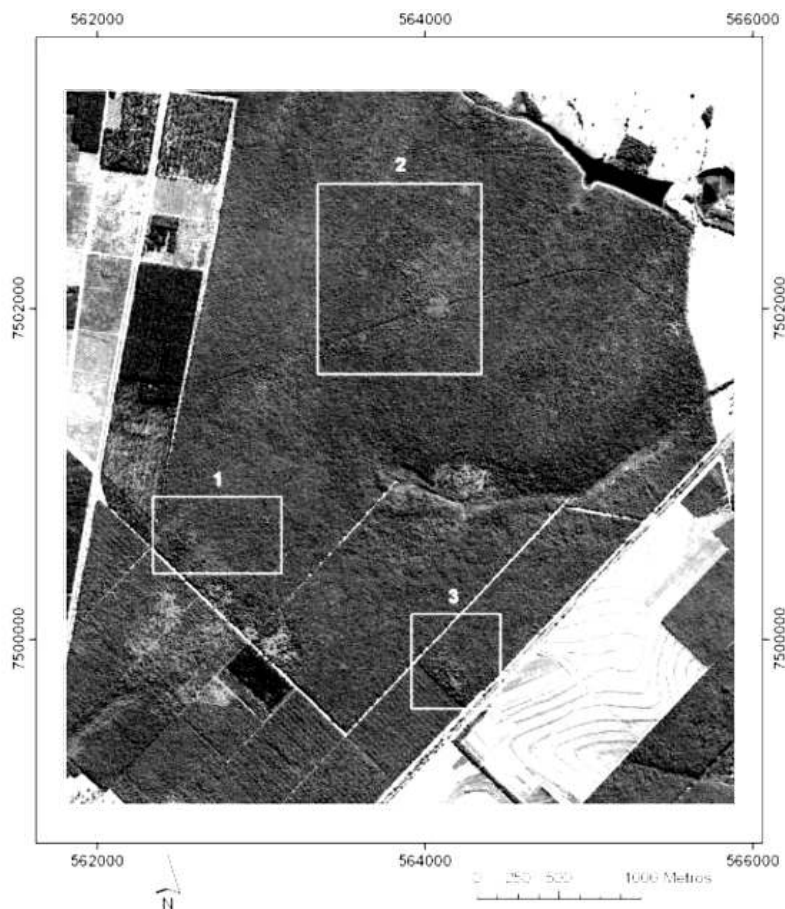


Figura 3. Mapas de distribuição espacial das espécies *S. paniculatum* e *M. fistulifera* gerados pela classificação da imagem da Estação Ecológica de Assis utilizando-se os tratamentos 1 (A), 2 (B), 3(C) e 4(D)

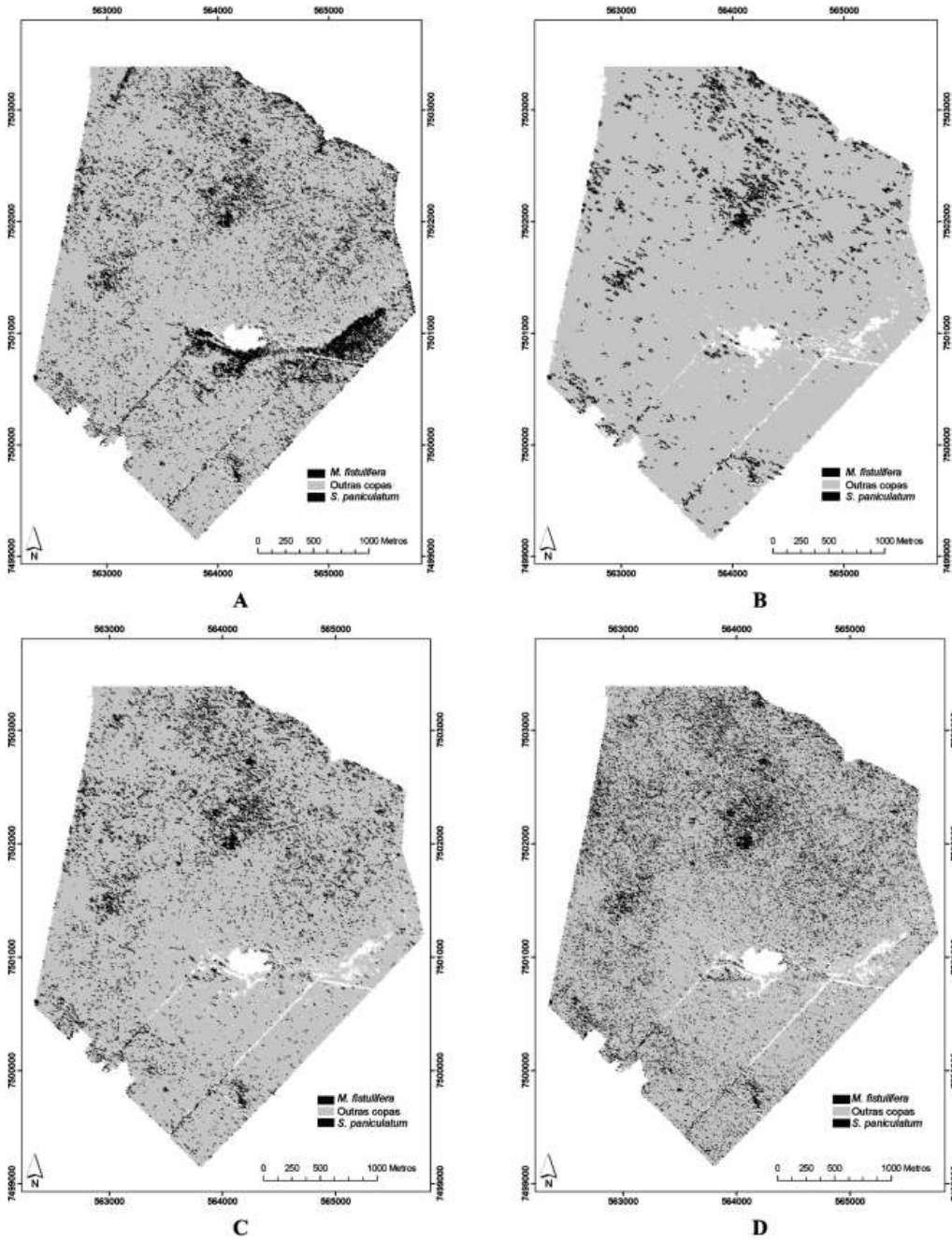


Tabela 1. Resultados da acurácia da classificação para os diferentes tratamentos, segundo o índice Kappa

Tratamento		Kappa (%)			
		1	2	3	4
Sub-área	1	87,16	84,89	87,22	66,73
	2	86,93	71,71	87,77	80,11
	3	93,34	91,22	92,81	89,2

Quando analisada qualitativamente a classificação da imagem inteira, o uso do mapa de distribuição potencial de *S. paniculatum* contribuiu para a exclusão da ocorrência desta espécie nas áreas de menor altitude, onde notadamente esta espécie não ocorre (conhecimento de campo) e a classificação digital registrou sua ocorrência (Figura 3A comparada com a 3C). Esse ganho obtido pelo uso desta informação espacial na classificação não pode ser quantificado por não ter ocorrido nas sub-áreas analisadas estatisticamente.

Pelos resultados obtidos, pode-se constatar que as duas espécies estudadas (*S. paniculatum* e *M. fistulifera*) são bem discriminadas entre si e entre as demais copas, quando utilizada a classificação orientada a objetos e imagens multiespectrais do satélite Quickbird. Todos os tratamentos testados, exceto o tratamento 4 na sub-área 1 e o tratamento 2 na sub-área 2, apresentaram resultados excelentes na classificação (Tabela 1, Kappa maior que 80%), quando comparados aos valores atribuídos por Landis e Koch (1977), para avaliação da qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa.

Como os resultados dos tratamentos foram semelhantes, serão apresentadas aqui apenas as matrizes de confusão geradas pelo tratamento 1 (Tabela 2).

As maiores confusões na classificação ocorreram na sub-área 2, onde 31,17% das copas de *S. paniculatum* e 18,8% de *M. fistulifera* foram classificadas incorretamente, sendo que, para a primeira espécie, a maior confusão ocorreu com a classe “outras copas” e, com a segunda espécie, a maior confusão foi com a espécie *S. paniculatum*.

Considerações Finais

As espécies *S. paniculatum* e *M. fistulifera*, foram identificadas de maneira satisfatória nas imagens Quickbird pelo método de classificação orientada a objeto. O mapa de distribuição potencial de *S. paniculatum* foi útil para a classificação ao excluir áreas onde a espécie não ocorre e a classificação digital registrou sua ocorrência, apesar deste ganho não ter sido quantificado.

S. paniculatum é uma espécie cuja madeira tem aplicação na construção e na produção de carvão vegetal (CARVALHO, 1994). Grande ênfase vem sendo dada, atualmente, para sua utilização em áreas alteradas pela ação antrópica, devido à capacidade de associação com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, ao rápido crescimento, acompanhado de elevada produção e deposição de folhas,

Tabela 2. Matriz de confusão para avaliação da qualidade da classificação da imagem Quickbird da Estação Ecológica de Assis pela técnica de Classificação Orientada a Objetos

	<i>M. fistulifera</i>	<i>S. paniculatum</i>	Outras copas	Total	Erro de comissão (%)
Sub-área 1					
<i>M. fistulifera</i>	18	3	0	21	14,29
<i>S. paniculatum</i>	0	56	4	60	6,67
Outras copas	2	10	59	71	16,9
Total	20	69	63	152	
Erro de omissão (%)	10	18,84	6,34		
Sub-área 2					
<i>M. fistulifera</i>	27	8	9	44	38,64
<i>S. paniculatum</i>	5	53	12	70	24,29
Outras copas	1	16	326	343	4,96
Total	33	77	347	457	
Erro de omissão (%)	18,18	31,17	6,05		
Sub-área 3					
<i>M. fistulifera</i>	0	3	1	4	100
<i>S. paniculatum</i>	0	180	5	185	2,7
Outras copas	0	13	129	142	9,15
Total	0	196	135	331	
Erro de omissão (%)	0	8,16	4,44		

possibilitando uma rápida formação de serrapilheira (DIAS et al., 1995). *M. fistulifera*, é recomendada para plantios mistos destinados à recomposição de áreas degradadas de preservação permanente (LORENZI, 2002). Por florescer na estação seca, período de escassez de alimentos, é essencial como fonte alternativa de alimento para muitos animais (DAUD e FERES, 2004). Ambas são protagonistas de um processo que está ocorrendo em diversas áreas de Cerradão, com a entrada paulatina de espécies florestais e, provavelmente, transformação desta formação em floresta estacional (DURIGAN e RATTER, 2006). São, portanto, espécies de interesse para estudos ecológicos e biogeográficos, práticas de conservação e de interesse comercial. A identificação destas espécies

através de técnicas de sensoriamento remoto tem, por essa razão, inúmeras aplicações.

Esta pesquisa representa uma significativa contribuição para a análise de dados de sensoriamento remoto de altíssima resolução no estudo de florestas tropicais, mais especificamente no estudo de espécies arbóreas. O delineamento e a identificação automáticos de copas de árvores têm sido feitos em formações homogêneas de árvores (GOUGEON, 1995; POUILLOT et al., 2002), mas raramente na heterogênea floresta tropical. Os poucos trabalhos neste sentido na floresta tropical que apresentaram bons resultados foram realizados apenas com fotografias aéreas de altíssima resolução (ERICKSON, 2004; TRICHON e JULIEN, 2006).

Trichon e Julien (2006) afirmaram que a nova geração de satélites de alta resolução espacial, como é o caso do IKONOS e do Quickbird, não tem resolução espacial suficiente para a identificação de espécies. Porém, nossos resultados mostraram que para as duas espécies do Cerradão a identificação foi realizada satisfatoriamente. Este resultado indica que, dependendo da formação florestal estudada e da espécie de interesse, a resolução espacial do satélite Quickbird pode ser satisfatória.

A identificação remota de espécies arbóreas tem múltiplas aplicações tanto para o estudo da ecologia das espécies de dossel como para o manejo e conservação das florestas tropicais. Tais técnicas podem ser utilizadas para avaliação do valor comercial e de conservação de uma floresta, baseado no reconhecimento de espécies endêmicas ou com interesse comercial. Podem também ser úteis para embasar decisões relacionadas ao manejo florestal, como por exemplo, o traçado de trilhas de acesso de forma a evitar

a derrubada de espécies importantes. A identificação de árvores com menor interesse comercial ou de conservação, que podem ser suprimidas para favorecer o crescimento de espécies de maior interesse, também pode ser facilitada pelo estudo do dossel florestal em imagens de sensoriamento remoto. É importante, portanto, continuar o desenvolvimento desta área de pesquisa, que apresenta inúmeras aplicações na área florestal. Seria muito interessante a realização de estudos similares em outros tipos de formações vegetais brasileiras, como é o caso da Floresta Ombrófila Densa e do Cerrado *stricto sensu*.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo auxílio financeiro concedido para a realização deste trabalho (processo número: 05/56757-6) e à Dra. Giselda Durigan, do Instituto Florestal de São Paulo, pelo auxílio nos trabalhos de campo.

Referências

- CARVALHO, P.E.R. *Espécies florestais brasileiras*. Embrapa: Brasília, DF, 1994.
- CLARK, M.L. et al. Hyperspectral discrimination of tropical forest tree species at leaf to crown scales. *Remote Sensing of Environment*, v. 96, p.375-398, 2005.
- DAUD, R.D.; FERES, R.J.F. O valor de *Mabea fistulifera* Mart. (Euphorbiaceae), planta nativa do Brasil, como reservatório para o predador *Euseius citrifolius* Denmark & Muma (Acari, Phytoseiidae). *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 21, n.3, p.453-458, 2004.
- DIAS, L.E. et al. Taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel): uma leguminosa arbórea nativa da Amazônia com potencial para recuperação de áreas degradadas. In: KANASHIRO, M.; PARROTA, J. A., e *Manejo e reabilitação de áreas degradadas e florestas secundárias na Amazônia*. Paris: UNESCO, 1995.
- DURIGAN, G. et al. *Plantas do Cerrado Paulista: Imagens de uma paisagem ameaçada*. São Paulo: Páginas & Letras, 2004, 475 p.

DURIGAN, G.; RATTER, J.A. Successional changes in cerrado and cerrado/forest ecotonal vegetation in western São Paulo State, Brazil, 1962-2000. *Edinburgh Journal of Botany*, v. 63, n.1, p.119-130. 2006.

ERIKSON, M. Segmantation and Classification of Individual Tree Crowns. *Doctoral Thesis*, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 2004.

GOUGEON, F.A. A crow-following approach to the automatic delineation of individual tree crows in high spatial resolution aerial images. *Canadian Journal of Remote Sensing*, v.21, p. 274-284, 1995.

HÁJEK, F. Object-oriented classification of remote sensing data for the identification of tree species composition. In: PROCEEDINGS OF FORESTSAT 2005 CONFERENCE, Boras, Sweden, 2005.

HOFFMANN, A; VEGT, J.W.V. New sensor systems and new classification methods: laser- and digital camera-data meet object-oriented strategies. *Journal for Spatial Information and Decision Making*, v. 6, n.1, p. 18-23, 2001

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v.33, n.1, p.159-174,1977.

LORENZI, H. *Árvores Brasileiras* v.1. Nova Odessa, SP, Plantarum. 2002a.

_____. *Árvores Brasileiras* v.2. Nova Odessa, SP, Plantarum. 2002b.

PINHEIRO, T.F. et al. Problemas no uso de imagens de alta resolução para quantificação de indivíduos arbóreos. In: III CONFERÊNCIA CIENTÍFICA DO LBA BRASÍLIA, 2004.

POULIOT, D.A. et al. Automated tree crow detection and delineation in high-resolution digital camera imagery of coniferous forest regeneration. *Remote Sensing of Environment*, v.82, p. 322-334, 2002.

READ, J.M. et al. Application of merged 1-m and 4-m resolution satellite data to research and management in tropical forests. *Journal of Applied Ecology*, v.40, p. 592-600, 2003.

SANTANA, F. et al. A reference business process for ecological niche modelling. *Ecological Informatics*, v.3, p.75-86. 2008.

SUTTON, T. et al. Introducing OpenModeller. *OSGeo Journal*, v.1, p.1-6, 2007.

TRICHON, V.; JULIEN, M.P. Tree species identification on large scale aerial photographs in a tropical rain forest, French Guiana – application for management and conservation. *Forest Ecology and Management*, v.225, p.51-61, 2006.

VAPNIK, V.N. *The Nature of Statistical learning Theory*. Springer, 1995.

VENTICINQUE, E.M. et al. Arranjo espacial do dossel e alguns problemas relacionados ao uso de imagens de alta resolução no estudo de florestas tropicais. In: III CONFERÊNCIA CIENTÍFICA DO LBA BRASÍLIA, 2004.