

DADOS DO QUICKBIRD PARA SUBSIDIAR O PLANEJAMENTO URBANO: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA, MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, SP, BRASIL

Carolina Moutinho Duque de Pinho¹, Hermann Johann Heinrich Kux¹

¹INPE—Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Caixa Postal 515, 12201 São José dos Campos, SP, Brasil
carolina@ltd.inpe.br
hermann@ltd.inpe.br

Palavras-chaves: Quickbird, Planejamento Urbano, Análise de Imagens Orientada a Objetos, São José dos Campos-SP.

RESUMO

A recente evolução do aumento da resolução espacial em dados de sistemas sensores orbitais ampliou fortemente a capacidade de discriminação dos alvos. Uma das áreas de aplicação privilegiadas com este tipo de imagem é o sensoriamento remoto de áreas urbanas que, apesar de já dispor de fontes de informação com alta resolução espacial (as fotografias aéreas métricas), ressentia-se da inexistência de um tipo de dado que reunisse alta resolução espacial com alta resolução radiométrica. A combinação destas duas características permite a detecção dos elementos que compõem o espaço intra-urbano e, por conseguinte, apresenta grande aplicabilidade para mapeamentos de cobertura e uso do solo intra-urbano com o auxílio de classificadores automáticos adequados. Entretanto a aplicação de técnicas de classificação automática às imagens provenientes dos novos sistemas sensores ópticos de alta resolução espacial (*IKONOS*, *QuickBird*, *Orbview* e *EROS*) tem encontrado muitas dificuldades pois, além do aumento da resolução espacial e radiométrica, apresentam também um aumento de ruído e de variabilidade espectral intra e inter-classes. Desta forma, os classificadores que utilizam métodos “pixel-a-pixel” são limitados para classificar este tipo de imagens, pois trabalham apenas com informações espectrais, que no caso da escala intra-urbana não é suficiente para discriminar as feições de interesse. A distinção de feições urbanas neste tipo de imagens torna-se possível através da incorporação de outros atributos/informações como forma, tamanho e contexto na classificação. Os classificadores que utilizam uma abordagem orientada a objeto podem ser uma alternativa para suplantar a limitação dos classificadores “pixel-a-pixel”, visto que utilizam informações topológicas (vizinhança, contexto) e geométricas (forma e tamanho) no processo de classificação. Este trabalho apresenta os primeiros resultados de criação de uma metodologia para a classificação do uso e cobertura do solo no espaço intra-urbano, a partir de análise orientada a objetos em imagens de alta resolução espacial, usando como estudo de caso a cidade de São José dos Campos, Estado de São Paulo, Brasil. Sua principal contribuição será subsidiar o planejamento urbano visando ao controle do parcelamento, uso, ocupação e cobertura do solo municipal, com informações atualizadas das classes de uso do solo intra-urbano.

Keywords: Quickbird, Urban planning, Object-Oriented Analysis, São José dos Campos-SP.

ABSTRACT

The recent increase in spatial resolution of data from spaceborne sensor systems, strongly improved the target discrimination capacity. One of the areas that benefited from such type of images, is the remote sensing of urban areas which, in spite of the availability of high spatial resolution sources (such as aerial photographs), did not have data available with both high spatial and radiometric resolution hitherto. The combination of these quality characteristics allows the detection of those elements which constitute the intra-urban space, and as such, it presents an application potential for large scale mapping of land

use/land cover of the intra-urban area, using appropriate automatic classifiers. Nevertheless, the use of automatic classification techniques on images of the new high resolution optical sensors (e.g. IKONOS, QuickBird, Orbview and EROS) has faced some difficulties because, besides the increase in spatial and radiometric resolution, these data present also an increase in noise and in the intra- and inter-class spectral variability. Considering this, the classifiers which use a pixel-by-pixel procedure have limitations for the classification of this type of images, since they consider only spectral information, which is not sufficient to discriminate features on the intra-urban scale. The classifiers using an object oriented approach are an alternative to overcome the limitations imposed by pixel-by-pixel classifiers, because they use both topologic (neighborhood, context) and geometric (form and size) information in the classification process. This paper presents the first results on the development of a methodology for the classification of land use/land cover in the intra-urban space, based on an object oriented analysis of spatial high resolution images, considering the real case study town of São José dos Campos, São Paulo State, Brazil. Its main contribution will be to provide ancillary information for urban planning, aiming to control land parcelling processes, zoning restrictions, land occupation and vegetation cover of this municipality with up-to-date information on the classes of intra-urban use and cover.

1. INTRODUÇÃO

Uma das fontes mais tradicionais de dados para a confecção de mapas de uso e cobertura do solo são as imagens orbitais de sensoriamento remoto. Entretanto, as imagens disponíveis até meados da década de 1990 não possuíam resolução espacial suficiente para discriminar os alvos dentro do ambiente intra-urbano. Desta forma, estudos detalhados sobre o ambiente intra-urbano só possuíam como fonte de dados de sensoriamento remoto as fotografias aéreas, as quais possuem alta resolução espacial.

Kurkdjian (1986) utilizou a interpretação de aerofotos para a delimitação de setores residenciais homogêneos. Neste mesmo trabalho, relatou algumas experiências internacionais com o uso de interpretação visual de aerofotos para a extração de dados sobre áreas de pobreza urbana e distinção entre tipos de áreas residenciais. Algumas destas experiências datam da década de 1950, o que mostra a longa tradição do uso de ortofotos no sensoriamento remoto urbano.

O lançamento de satélites com sensores de alta resolução espacial (IKONOS II em 1999, Quickbird em 2001 e Orbview em 2003) representou um momento de grande inovação para o sensoriamento remoto do espaço intra-urbano. Já estavam disponíveis fontes de informação com alta resolução espacial (as aerofotos), entretanto não havia ainda um tipo de dado que reunisse alta resolução espacial (em torno de 1m) com alta resolução radiométrica. As imagens destes novos sensores possuem resolução radiométrica de 11bits, o que aumenta consideravelmente o poder de distinção entre os alvos a partir de uma maior gama de níveis de cinza (2048 níveis de cinza), quando comparados aos satélites da série TM-Landsat e Spot (8 bits de resolução radiométrica).

Existem vários trabalhos sobre o espaço intra-urbano que utilizam dados de sensores orbitais de alta resolução espacial (Thomas et al., 2003; Herold et al., 2002b). Estes estudos podem ser divididos em duas categorias quanto ao procedimento de extração de informações. O primeiro grupo se utiliza técnicas de fotointerpretação (Souza et al., 2002), e o segundo emprega métodos de classificação automática (Paes et al., 2003; Meinel e Reder, 2001; Hofmann, 2001).

Este trabalho apresenta os primeiros resultados de criação de uma metodologia para a classificação do uso e cobertura do solo no espaço intra-urbano, a partir de análise orientada a

objetos em imagens de alta resolução espacial, usando como estudo de caso a cidade de São José dos Campos, Estado de São Paulo, Brasil.

1.1 Análise de Imagens Orientada a Objetos

Atualmente, há um grande número de estudos dedicados à identificação de alvos urbanos com imagens orbitais de alta resolução usando diferentes técnicas de classificação. Dentre estes procedimentos, destacam-se os classificadores por pixel como o MAXVER (Paes, 2003); por distância mínima e redes neurais; classificadores texturais (Souza et al., 2003; De Kok et al., 2003) e classificadores orientados a objetos (Hofmann, 2001a, 2001b, 2001c).

Nas imagens provenientes dos sistemas sensores orbitais de alta resolução espacial, o problema de pixels mistos foi bastante reduzido. Entretanto, a variabilidade espectral interna das classes assim como o ruído aumentaram. Como consequência, classificadores com abordagem “pixel-a-pixel” produzem como resultado um número muito grande de classes ou classes mal definidas (Schiewe et al., 2001).

Os trabalhos de Herold et al. (2002a) e Andrade et al. (2003) mostraram que a análise de imagens orientada a objetos produz melhores resultados quando comparada com técnicas baseadas apenas em informação espectral. Este tipo de informação isoladamente não é capaz de distinguir uma série de feições urbanas, pois estas têm uma composição muito complexa. Existem feições diferentes com a mesma cor (cobertura de concreto envelhecido e rodovia asfaltada) e existem feições que são formadas por grupos de pixels com cores diferentes, como é o caso de um telhado cerâmico com uma face avermelhada e outra marrom devido a efeitos de iluminação. Segundo Hoffmann e Vejt (2001), a classificação de feições urbanas deve incorporar informações espaciais, como forma e relações topológicas, para que seja possível a distinção entre os alvos.

Pinho e Feitosa (2003) fizeram um experimento no qual avaliaram comparativamente o desempenho do classificador orientado a objetos do *software e-Cognition* e do classificador MAXVER sobre uma imagem IKONOS da cidade de São José dos Campos. Os resultados obtidos mostraram que a classificação produzida pelo método orientado a objetos produziu feições com contornos melhor definidos que o MAXVER. Isto porque foram utilizados parâmetros de forma e cor nos processos de segmentação e classificação, o que resultou em objetos com limites razoavelmente coincidentes com as feições do mundo real (edificações, ruas, árvores etc.).

A análise de imagens orientada a objetos emprega informações espaciais em seu processamento e por isto tem se mostrado mais eficiente na aplicação em áreas urbanas.

1.2 Segmentação Multiescala

Uma das críticas efetuadas às segmentações convencionais baseia-se no fato de que estas não consideram as características espaciais do pixel, o que resulta em uma eficiência reduzida no caso de imagens de alta resolução (Antunes, 2003).

A segmentação multi-resolução parte do pressuposto de que as informações contextuais são importantes e, por isto, a interpretação de uma cena deve considerar não apenas a dimensão espectral como também a dimensão espacial, descrita por relações entre objetos vizinhos. Para

tanto, é necessário que o processo de segmentação seja moldado em função da resolução da imagem e da escala esperada para os objetos (Antunes, 2003).

A concepção da segmentação multi-resolução, introduzida por Baatz e Schäpe (2000), utiliza o conceito de evolução de rede fractal (*FNEA*), no qual se considera a imagem de sensoriamento remoto como de natureza fractal. A segmentação da imagem resulta em segmentos ou objetos, que baseados em parâmetros espectrais e de forma, podem ser reagrupados em objetos maiores denominados super-objetos. Este processo de fusão para a formação dos super-objetos é baseado em um critério de homogeneidade entre os objetos adjacentes. Estes super-objetos possuem relações com os segmentos que os constituem em um nível hierárquico mais baixo (Blaschke e Hay, 2002).

O critério de homogeneidade deste tipo de classificador baseia-se em atributos de cor e forma que podem receber pesos diferentes em função do tipo de objeto de interesse. Os atributos de cor e forma são:

- A. A soma dos desvios-padrão dentro dos tons de cinza para uma dada banda c ponderados pelos pesos w_c (medida de homogeneidade de cor);
- B. O desvio padrão de uma forma compacta, descrita pela razão do perímetro do objeto pela raiz quadrada do número de pixels (medida de compactação do objeto);
- C. A relação do comprimento da borda de um objeto em relação ao comprimento da borda de um retângulo ao longo do *raster* que inclui o objeto (medida de suavidade do objeto).

Ao final da segmentação, é criada uma estrutura hierárquica que representa a informação de dados simultaneamente em diferentes resoluções. Os objetos estão em rede de vizinhança e hierarquia: cada objeto reconhece os seus vizinhos, sub-objetos (objetos menores que formam os super-objetos) e super-objetos (Definiens Imaging, 2003).

1.3 Área de Estudo

A área escolhida para o estudo localiza-se no município de São José dos Campos – SP, de médio porte, com uma população de 593.313 habitantes (IBGE, 2000) e uma posição geográfica privilegiada do ponto de vista econômico. O município está localizado no Médio Vale do rio Paraíba às margens da Rodovia Presidente Dutra, entre as duas maiores metrópoles brasileiras, São Paulo e Rio de Janeiro.

A principal motivação para a escolha deste município como estudo de caso foi a existência de trabalhos anteriores desenvolvidos na área que aplicavam técnicas de sensoriamento remoto para extração de informações do espaço intra-urbano (Kurkdjian, 1986; Souza et al., 2002 e Souza, 2003). O conteúdo destes estudos constitui-se em uma fonte de informações importantes a respeito do uso e cobertura do solo em épocas distintas do desenvolvimento urbano do município.

Neste trabalho, que é de caráter experimental, optou-se por lidar com uma pequena área-teste (0,65 km²) que reunisse as principais classes de cobertura do solo presentes no espaço intra-urbano de São José. Foi escolhido então uma seção do bairro Vila Coríntians (Figura 1).

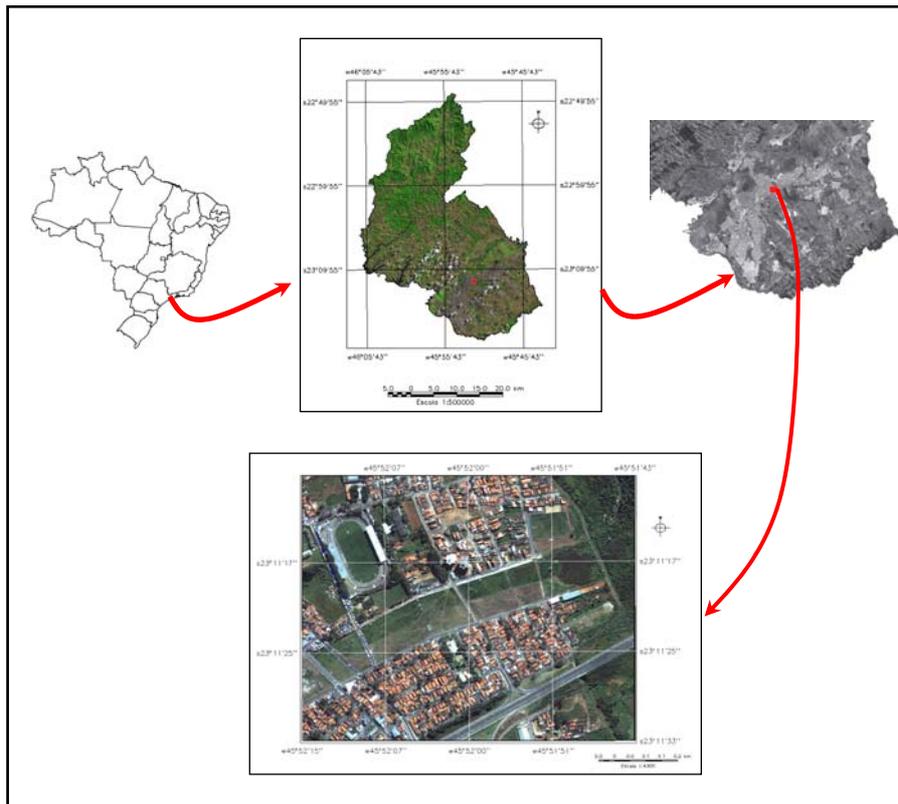


FIGURA 1. *Localização da Área-Teste do Experimento dentro do Município de São José dos Campos – SP.*

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Foram utilizados os seguintes dados sobre a região: imagens Quickbird, multiespectral e pancromática, de 17 de maio de 2004, com resolução espacial de 0,6 m; base cartográfica digital em escala 1:2.000, contendo as quadras do município (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2003).

Foram utilizados os seguintes programas: Envi 4.0, para fusão da imagem pancromática com a multiespectral; AutoCad Map 2000, para a edição da base vetorial; e o e-Cognition 4.0, para as operações de segmentação e classificação.

2.2 Métodos

O trabalho aqui desenvolvido trata da fase experimental de um trabalho maior, o qual tem por objetivo criar uma metodologia de classificação de cobertura e uso do solo intra-urbano. Assim sendo, algumas etapas importantes, como a correção geométrica da imagem, não foram realizadas por se tratar de um experimento onde o principal objetivo é identificar quais classes de cobertura e uso são detectáveis utilizando-se imagens de alta resolução espacial e análise de imagens orientada a objetos. O experimento foi realizado em seis etapas:

- A. *Preparação dos dados* → Dois processos foram realizados nesta etapa: a fusão das imagens e a edição vetorial da base de quadras. No primeiro, a imagem multiespectral foi fusionada com a imagem pancromática para que a resolução espacial desta última fosse incorporada à multiespectral, utilizando-se a técnica de Principais Componentes. No segundo, foram realizados alguns ajustes de geometria e topologia para a geração dos polígonos das quadras. O arquivo corrigido foi convertido em formato *shapefile* e inserido no e-Cognition para servir de parâmetro no processo de segmentação.
- B. *Segmentação* → Primeiramente, foi definido que seriam trabalhados três níveis hierárquicos: grosseiro, médio e fino. Cada um dos níveis foi estruturado a partir dos objetos de interesse que deveriam conter. No nível grosseiro, deveriam estar presentes quadras e ruas; no médio, grandes classes de cobertura do solo como vegetação, sombra e área construída; e finalmente no nível mais fino, cobertura cerâmica, vegetação rasteira, vegetação arbórea, cobertura de alumínio, asfalto etc. Após a definição dos níveis, foram realizados alguns testes de segmentação, onde se partiu dos objetos maiores (quadras e ruas) para os menores, pois se pretendia manter bem delimitado o limite das quadras em todos os níveis. Foram alternados os pesos para os graus de homogeneidade de cor e forma. Para o nível grosseiro, a forma obteve maior peso, já que o objetivo era demarcar quadras e ruas, que são objetos de forma bem definida e de grande variedade espectral. Nos dois níveis seguintes, optou-se por priorizar a cor, pois se desejava extrair classes de cobertura. A escolha do fator de escala, que é um limiar de homogeneidade, foi realizada através de diversos testes, até se obter os objetos desejados. No Quadro 1, estão todos os parâmetros utilizados na segmentação de cada nível hierárquico.
- C. *Seleção das amostras* → Foram selecionados dois grupos distintos de amostras: de treinamento e de validação. As amostras do primeiro grupo serviram como base de análise do comportamento de cada classe diante de um determinado parâmetro (média espectral, desvio padrão, brilho, área, brilho em relação aos objetos vizinhos). Já o segundo grupo foi utilizado para a validação da classificação.
- D. *Análise da separabilidade entre as classes* → Foi definida uma estrutura hierárquica de classes bem como os atributos que melhor descreveram as mesmas.
- E. *Avaliação da acurácia da classificação* → Foi calculada a matriz de confusão e índice Kappa, onde foram confrontados os resultados da classificação com as amostras de validação tomadas em etapa anterior.

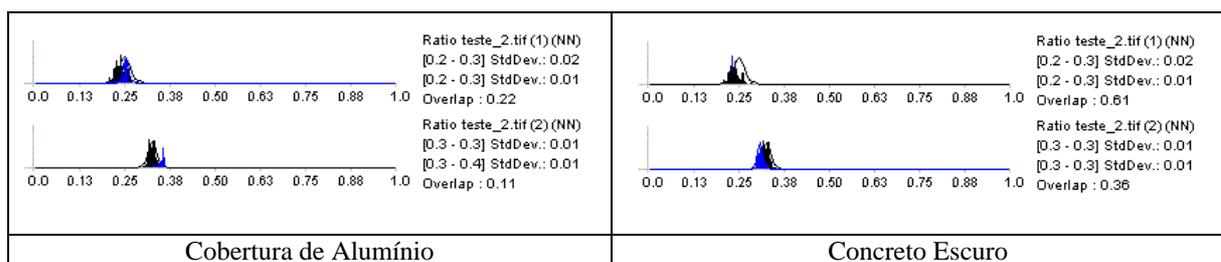
		
<p>Nível Grosseiro Escala: 1000 Forma: 0.9 Alvos de Interesse: Quadras e Ruas.</p>	<p>Nível Médio Escala: 50 Forma: 0.3 Alvos de Interesse: Grandes Classes de Cobertura → Vegetação; Área Construída e Solo Exposto e Sombra.</p>	<p>Nível Fino Escala: 20 Forma: 0.3 Alvos de Interesse: Vegetação Rasteira; Arbustiva e Arbórea; Asfalto; Cobertura Cerâmica; Concreto Claro; Concreto Escuro; Solo Exposto e Sombra.</p>

QUADRO 1. Parâmetros utilizados no processo de segmentação de cada nível hierárquico.

3. RESULTADOS

A definição dos atributos adequados para descrever cada classe constitui-se em uma difícil tarefa, quando se trata de identificar alvos urbanos em imagens de alta resolução espacial. Isto porque imagens dos sensores Quickbird e IKONOS II, apesar de terem alta resolução espacial e com isso aumentarem o poder de resolução dos alvos, possuem baixa resolução espectral, limitando-se apenas a três bandas no visível (azul, verde e vermelho) e uma no infra-vermelho próximo. Herold et al. (2002c) elaborou assinaturas espectrais de alguns alvos urbanos a partir de dados de sensor hiperespectral AVIRIS e demonstrou que existem importantes bandas de diferenciação em comprimentos de onda do infravermelho próximo e médio a partir de 1.200 nm. A única banda do infra-vermelho próximo do Quickbird localiza-se entre 760 e 900 nm.

A alternativa para tentar suplantar a reduzida resolução espectral é utilizar atributos que descrevem as formas dos objetos e/ou relações entre os objetos vizinhos. Um exemplo bem sucedido desta abordagem foi a definição dos descritores da classe Asfalto. Os atributos que melhor a diferenciavam das outras classes foram *ratio2* e *ratio4* (razão entre a média do número digital de uma determinada banda em relação à média das outras bandas). Entretanto, houve uma superposição do espaço de atributos do Asfalto com as classes Cobertura de Alumínio e Concreto Escuro (Quadro 2).

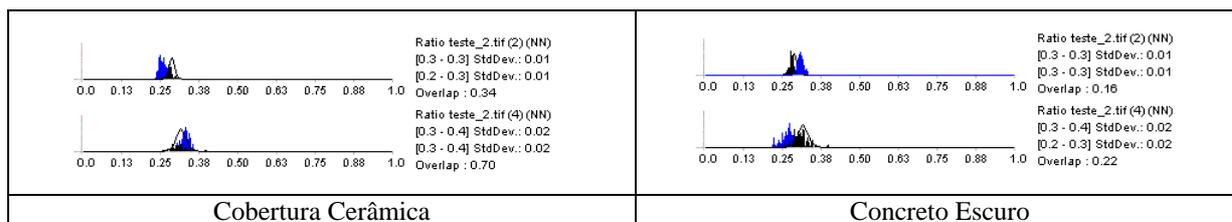


QUADRO 2. Histograma comparativo da classe Asfalto com as classes Cobertura de Alumínio e Concreto Escuro. As barras pretas são os valores referentes à classe Asfalto.

A solução encontrada para diferenciar estas classes foi condicionar a existência das mesmas em relação à existência de classes no nível hierárquico grosseiro. Partiu-se do princípio que não haveria edificações no meio da rua e nem asfalto no interior das quadras. Desta forma, restringiu-se à existência das Classes Concreto Escuro e Cobertura de Alumínio a existência da classe Quadras no nível hierárquico grosseiro. Também se formulou a condição de que um objeto só pertenceria à classe Asfalto, se ele pertencesse à classe Ruas no nível grosseiro.

Apesar do programa utilizado fornecer este tipo de artifício, nem todos os problemas de sobreposição entre classes foram resolvidos. Detectou-se áreas de sobreposição da Classe Solo Exposto em relação às Classes Cobertura Cerâmica e Concreto Escuro. Entretanto, neste caso, a separação entre as classes não foi realizada completamente. A fim de se evitar a sobreposição, estreitaram-se ao máximo os intervalos de ocorrência da Classe Solo Exposto (Quadro 2), o que produziu um número significativo de objetos desta classe que não foram classificados. Esta classe foi a que obteve o pior índice Kappa: 0,5509 (vide Tabela 1).

Mesmo diante das dificuldades encontradas, a classificação no nível fino (mais detalhado) teve boa acurácia, com índice Kappa geral de 0,855 e acurácia total de 0,8728. O resultado da Classificação pode ser visto na Figura 2.



QUADRO 3. Histograma comparativo da classe Solo Exposto com as classes Cobertura Cerâmica e Concreto Escuro. As barras pretas são os valores referentes à classe Solo Exposto.

	C_Cerâmica	Asfalto	C_Alumínio	Solo Exposto	Cr_Claro	Cr_Escuro	Arbórea	Rasteira	Sombra	Soma
C_Cerâmica	79	0	0	3	1	0	0	0	0	83
Asfalto	0	51	1	0	1	0	0	0	0	53
C_Alumínio	0	0	17	0	0	0	0	0	0	17
Solo Exposto	0	0	0	23	0	1	0	0	0	24
Cr_Claro	0	0	1	2	35	0	0	0	0	38
Cr_Escuro	0	0	0	0	0	35	0	0	0	35
Arbórea	0	0	0	0	0	0	66	8	0	74
Rasteira	0	0	2	0	0	0	7	45	0	54
Sombra	0	0	0	0	0	0	5	0	40	45
Não Classificada	2	0	1	10	1	4	6	0	1	25
Soma	81	51	20	40	38	40	84	53	41	
Acurácia do Produtor	0.9753	1	0.85	0.575	0.921	0.875	0.7857	0.849	0.9756	
Acurácia do Consumidor	0.9518	0.9623	1	0.9583	0.921	1	0.8919	0.8333	0.8889	
Kappa por classe	0.9697	1	0.844	0.5509	0.9137	0.8644	0.7433	0.8284	0.9729	

TABELA 1. Matriz de confusão e índice Kappa.

4. CONCLUSÕES

A análise de imagens orientada a objetos consiste em uma poderosa ferramenta para se explorar os potenciais das novas imagens de alta resolução espacial. Entretanto, ainda há muito para se pesquisar em relação aos tipos de atributos que podem ser utilizados (há em torno de 100 atributos disponíveis no programa) para se caracterizar classes de cobertura urbana, com a limitação de resolução radiométrica dos atuais sensores de alta resolução espacial.

Neste contexto, a estruturação da rede hierárquica de classes ganha fundamental importância, pois através dela é possível estabelecerem-se importantes relações entre objetos de níveis distintos, as quais muitas vezes podem ser a solução para sobreposições no espaço de atributos.

Outro ponto importante é a utilização de informações temáticas auxiliares no processo de segmentação/classificação. O uso do vetor das quadras foi de fundamental importância na definição do limite dos objetos e principalmente na diferenciação da classe Asfalto.



FIGURA 2. Resultado da classificação no nível mais detalhado.

AGRADECIMENTOS

À Empresa Intersat, que gentilmente cedeu as imagens Quickbird utilizadas neste experimento. E a Prefeitura de São José dos Campos, pelo fornecimento dos dados vetoriais das quadras da cidade.

BIBLIOGRAFIA

Andrade, A. F.; Botelho, M. F.; Centeno, J. A. S. Classificação de imagens de alta resolução integrando variáveis espectrais e forma utilizando redes neurais artificiais. In: XI Simpósio Brasileiro de sensoriamento Remoto. **Anais**. Belo Horizonte, Brasil: INPE, 2003. v. , p. 265-272.

Antunes, A. F. B. **Classificação de ambiente ciliar baseada em orientação a objeto em imagens de alta resolução espacial**. Curitiba. 146p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Universidade Federal do Paraná, 2003.

Baatz, M.; Schäpe, A., **Multiresolution Segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation**. In: STROBL, J., BLASCHKE, T. (Hrsg): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000*. Karlsruhe, Herbert Wichmann Verlag, 2000 p. 12 – 23.

Blaschke, T; Hay, G. **Object-oriented image analysis and scale-space: theory and methods for modelling and evaluating multiscale landscape structure**. jan. 2002 Disponível em: <http://www.definiens-imaging.com/documents/reference2002.htm>. Acesso em 25 junho 2003.

Definiens Imaging **e-Cognition: User Guide 3**. 2003, 480 p. Disponível em: <http://www.definiens-imaging.com/down/ecognition>>. Acesso em 15 out. 2003.

De Kok, R.; Wever, T.; Fockelmann, R. Analysis of urban structure and development applying procedures for automatic mapping of large area data. [CD-ROM] In: *Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2003, **Proceedings**, Regensburg, Germany, 2003.

- Herold, M.; Scepan, J.; Müller, A.; Günther, S. Object-oriented mapping and analysis of urban land use/cover using IKONOS data. In: 22nd EARSEL Symposium "Geoinformation for European-wide integration" **Proceedings**, Prague 2002 (a).
- Herold, M.; Clarke, K. C.; Menz, G. A multi-scale framework for mapping and analysis of the spatial and temporal pattern of urban growth. In: 22nd EARSEL Symposium "Geoinformation for European-wide integration" **Proceedings**, Prague: 2002 (b).
- Herold, M.; Gardner, M., Hadley, B. and Roberts, D. The spectral dimension in urban land cover mapping from high-resolution optical remote sensing data. In: 3rd Symposium on Remote Sensing of Urban Areas, **Proceedings**, Istanbul, Turkey, 2002 (c).
- Hoffmann, A.; Vegt, J. W. V. New sensor systems and new classification methods: laser and digital camera-data meet object-oriented strategies. **GeoBIT/GIS**, v. , n. 6, p. 18-23, 2001.
- Hofmann, P; Detecting informal settlements from IKONOS image data using methods of object oriented image analysis - an example from Cape Town (South Africa). In: 2nd International Symposium on Remote Sensing of Urban Areas. **Proceedings**, Regensburg, Germany: Institut für Geographie an der Universität Regensburg, p. 107 - 118. 2001(a)
- Hofmann, P. Detecting urban features from IKONOS data using an object-oriented approach. In: **Remote Sensing & Photogrammetry Society** (Editor): Proceedings of the First Annual Conference of the Remote Sensing & Photogrammetry Society, 12-14 September 2001: 28-33, 2001(b).
- Hofmann, P. Detecting buildings and roads from IKONOS data using additional elevation information. In: **GeoBIT/GIS** nr 6, 28-33, june 2001(c).
- Kurkdjian, M. L. N. O.; **Um método para identificação e análise de setores residenciais urbanos homogêneos, através de dados de sensoriamento remoto, com vistas ao planejamento urbano**. São Paulo. 158p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - FAU - USP, 1986.
- Meinel, G.; Reder, J. The potential of very high resolution satellite data for urban areas: first experiences with IKONOS data, their classification and application in urban planning and environmental monitoring. In: 2nd International Symposium on Remote Sensing of Urban Areas, **Proceedings**, Regensburg, Germany: Institut für Geographie an der Universität Regensburg Selbstverlag, 2001, 196 - 205.
- Paes, C. F.; Pinto, S. A. F.; Dutra, L. V. Um estudo exploratório para obtenção de índices de qualidade de vida urbana (IQV) utilizando imagens de alta resolução do satélite IKONOS II. [CD-ROM] In: IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Fev. 2003. **Anais** . Belo Horizonte, Brasil: INPE, Fev. 2003.
- Pinho, C. M. D.; Feitosa, F. F. **Aplicação de técnicas de classificação automática para a distinção de alvos urbanos em imagens IKONOS**. São José dos Campos: INPE, Dez. 2003. 42 p. (Trabalho final da disciplina Processamento Digital de Imagens).
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. Cidade Viva. CD-ROM. 2003.
- Schiewe, J.; Tufte, L.; Ehlers, M.; Potential and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing. **GeoBIT**, nr 6, 34-39, june 2001.
- Souza, I. M. **Análise da estrutura do espaço intra-urbano para estimativa populacional intercensitária utilizando dados orbitais de alta resolução espacial**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) - Universidade do Vale do Paraíba - Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, 2003.
- Souza, I. M.; Pereira, M. N.; Garcia, L. M. F.; Kurkdjian, M. L. N . O. Mapeamento do uso do solo urbano através da classificação por regiões baseada em medidas texturais. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais**. Belo Horizonte, Brasil: INPE, 2003. 1967-1968.
- Souza, I. M.; Pereira, M. N.; Kurkdjian, M. L. N. O. **Avaliação de dados de sensoriamento remoto de alta resolução espacial para estimativa de população urbana**. São José dos Campos: INPE, fev. 2002. 11 p. (INPE-8885-PRE/4663/B)
- Thomas, N.; Hendris, C.; Congalton, R. G. A comparison of urban mapping methods using high-resolution digital imagery, **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 69, n. 9, 963-972, fev. 2003.