

MAPEAMENTO DA COBERTURA DO SOLO URBANO UTILIZANDO IMAGENS WORLDVIEW-II E O SISTEMA INTERIMAGE

Urban land cover Mapping Using WorldView-II Images and the InterIMAGE System

Bárbara Maria Giacom Ribeiro
Leila Maria Garcia Fonseca
Hermann Johann Heinrich Kux

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Divisão de Sensoriamento Remoto – Divisão de Processamento de Imagens
Av. dos Astronautas, 1758 – 12227-010 – São José dos Campos - SP, Brasil
bgiacom@gmail.com
leila@dpi.inpe.br
hermann@dsr.inpe.br

RESUMO

As técnicas de análise de imagens baseadas em objetos e os sensores de alta resolução espacial têm sido muito usadas para mapear alvos urbanos. Uma das principais limitações de tais sensores tem sido a baixa resolução espectral, o que dificulta a discriminação de objetos urbanos com respostas espectrais semelhantes. Neste caso, dados auxiliares, tais como os LIDAR, têm sido usados para melhorar os resultados da classificação. O sensor WorldView-II, por possuir oito bandas espectrais, pode ser uma boa solução para a discriminação de alvos urbanos de difícil identificação somente com o uso de imagens de sensores de alta resolução com menor resolução espectral. Por outro lado, o sistema de interpretação de imagens InterIMAGE, que tem sido desenvolvido pela PUC-RJ em cooperação com o INPE, apresenta grande potencial para a classificação de áreas urbanas complexas. Neste contexto, este trabalho propõe avaliar o potencial das imagens do sensor WorldView-II para o mapeamento da cobertura do solo em uma área urbana do Trecho Oeste do Rodoanel Mário Covas, na Região Metropolitana de São Paulo, usando o InterIMAGE. O modelo de classificação é construído de acordo com a estratégia de análise de imagens do InterIMAGE. Os mapas temáticos de cobertura do solo obtidos apresentaram altos valores de exatidão global e índice *Kappa* iguais a 0,87 e 0,85, respectivamente. Além disso, alguns conflitos típicos da classificação de alvos urbanos foram resolvidos com a identificação de quinze classes de cobertura do solo. De uma forma geral, os resultados mostraram que as novas bandas espectrais do sensor WorldView-II foram fundamentais para a discriminação de alguns alvos urbanos, tais como Telha Cerâmica e Solo Exposto, geralmente, difíceis de serem identificados com os sensores de alta resolução espacial como o QuickBird-II e IKONOS.

Palavras chaves: Sensoriamento Remoto, InterIMAGE, Imagem de Alta Resolução, Cobertura do Solo Urbano, Área Urbana.

ABSTRACT

Object-based techniques for image analysis and high spatial resolution sensors have been widely used to map urban targets. A major shortcoming of such sensors has been their low spectral resolution, which makes the discrimination of urban objects of similar spectral responses very difficult. In this case, ancillary data such as LIDAR data have been used to improve the classification results. The sensor WorldView-II, with eight spectral bands, can be a good solution in the discrimination of urban objects which are difficult to be identified using only high spatial resolution sensors with lower spectral resolution. Moreover, the framework for image classification InterIMAGE, which has been developed by PUC-RJ in cooperation with INPE, shows great potential for classifying complex urban areas. Within this context, this paper proposes to evaluate the potential of the WorldView-II images for mapping land cover in an urban area of the western region of the Mario Covas Ring Road, in the Metropolitan Region of São Paulo, using InterIMAGE. The classification model is built according to the InterIMAGE's image analysis strategy. The land cover thematic maps achieved high values of overall accuracy and *Kappa* equal to 0.87 and 0.85, respectively. Typical classifications conflicts have been resolved by discriminating fifteen classes of land cover. The results showed that the new spectral bands of the WorldView-II were essential for discriminating some urban objects such as Ceramic Tile and Exposed Soil, usually, difficult to be identified with other sensors of high spatial resolution such as QuickBird-II and IKONOS.

Keywords: Remote Sensing, InterIMAGE, High Resolution Image, Urban Land Cover, Urban Area.

1. INTRODUÇÃO

O avanço das tecnologias de sensoriamento remoto e a maior disponibilidade de sistemas sensores com melhores resoluções espacial, temporal e radiométrica expandiram o leque de aplicações das imagens orbitais (EHLERS, 2007; BLASCHKE e KUX 2007; BLASCHKE, 2010). Entretanto, os atuais sensores de alta resolução espacial ainda possuem limitações em relação à resolução espectral (número, largura e posição de bandas no espectro eletromagnético) que dificultam a discriminação entre algumas classes de cobertura do solo no processo de classificação automática de áreas urbanas (HEROLD *et al.*, 2003; 2004; MOREIRA, 2008). A dificuldade no mapeamento de áreas urbanas deve-se, principalmente, à grande quantidade e semelhança das assinaturas espectrais dos seus elementos constituintes aliado às limitações dos métodos de classificação usados.

Com o lançamento do sensor WorldView-II, em outubro de 2009, novas perspectivas para o estudo das propriedades espectrais de alvos urbanos foram abertas. Este é o primeiro sensor orbital de alta resolução espacial (0,46 m na banda pancromática e 1,84 m nas bandas multiespectrais) que possui oito bandas multiespectrais: cinco bandas na faixa do espectro eletromagnético visível e três na faixa do infravermelho próximo.

Neste cenário, a melhoria das resoluções espacial e espectral e o aprimoramento das técnicas de processamento de imagens têm possibilitado a análise e o mapeamento da cobertura do solo em um nível nunca realizado anteriormente com imagens orbitais.

Os sistemas de análise de imagens do tipo OBIA (*Object-Based Image Analysis*) têm sido largamente utilizados na classificação de uso e cobertura de áreas urbanas (ALMEIDA *et al.*, 2009; DURIEUX *et al.*, 2008; KUX *et al.*, 2007; NOVACK e KUX, 2010; PINHO *et al.*, 2008; TAUBENBÖCK *et al.*, 2010; THOMAS *et al.*, 2003). Entretanto, a maioria destes sistemas é comercial e caro. Além disso, eles não são facilmente adaptáveis às necessidades específicas de cada aplicação, sendo *softwares* fechados e sem capacidade de customização.

Em contrapartida, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a PUC-RJ estão desenvolvendo o InterIMAGE, um sistema de interpretação de imagens baseado em conhecimento, que possui código aberto, com uso e distribuição livre e gratuita (COSTA *et al.*, 2008). Embora esteja em desenvolvimento, alguns estudos em aplicações urbanas têm utilizado, com êxito, o sistema InterIMAGE (CINTRA *et al.*, 2010; CAMARGO *et al.*, 2010; NOVACK e KUX, 2010; PINHO *et al.*, 2009; RIBEIRO, 2010).

Desta forma, este trabalho propõe avaliar o potencial das imagens do sensor WorldView-II para o mapeamento da cobertura do solo em uma área urbana do Trecho Oeste do Rodoanel Mário Covas, na Região Metropolitana de São Paulo, usando o sistema

InterIMAGE. A hipótese deste trabalho é que a melhoria da resolução espectral das imagens WorldView-II pode facilitar a identificação de alvos urbanos, e conseqüentemente, aprimorar a classificação da cobertura do solo.

Para introduzir as novas tecnologias usadas neste trabalho, as seções 2 e 3 apresentam uma breve descrição das características do sensor WorldView-II e do sistema InterIMAGE. As seções 4, 5, 6 e 7 apresentam a área de estudo, metodologia, resultados e conclusões, respectivamente.

2. SENSOR WORLDVIEW-II

Em outubro de 2009, o sensor orbital WorldView-II foi lançado. Este é o primeiro sistema de alta resolução espacial que possui oito bandas multiespectrais (Fig. 1): *Coastal*, *Blue*, *Green*, *Yellow*, *Red*, *Red-Edge*, *Near Infra-Red 1 (NIR-1)* e *Near Infra-Red 2 (NIR-2)*. Sua resolução espacial é 0,46 m na banda pancromática e 1,84 m nas bandas multiespectrais. A distribuição e o uso de imagens com resolução inferior a 0,5 m na banda pancromática e 2,0 m nas bandas multiespectrais estão sujeitos à aprovação do Governo dos Estados Unidos (DIGITAL GLOBE, 2010a).

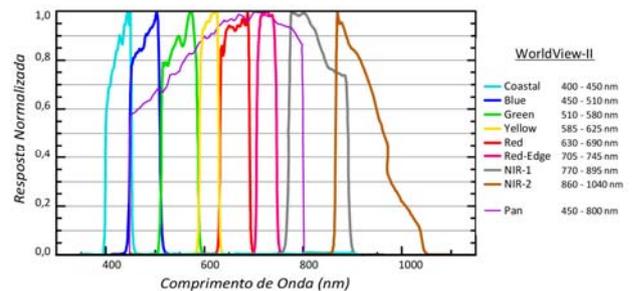


Fig. 1 – Respostas espectrais normalizadas das bandas do sensor WorldView-II. Fonte: adaptado de Digital Globe (2010a).

O sensor WorldView-II representa uma inovação, em relação aos sensores de alta resolução espacial atuais, pois possui mais quatro bandas espectrais além das tradicionais azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, o que amplia seu poder de caracterização e separação dos alvos investigados. Por exemplo, a banda *Red-Edge* é estrategicamente centralizada em 725 nm, no início da porção de alta refletividade da resposta da vegetação, fornecendo dados importantes para seu estudo (DIGITAL GLOBE, 2010a).

O satélite WorldView-II adquire as imagens pancromática e multiespectral simultaneamente, de modo que existe correspondência espacial entre cada *pixel* das imagens (DIGITAL GLOBE, 2010b).

3. INTERIMAGE

No âmbito de desenvolvimento de métodos de análise do ambiente urbano em sensoriamento remoto,

insere-se o projeto do *software* livre InterIMAGE (INTERIMAGE, 2010). Este projeto é resultado da cooperação entre a Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR) e Divisão de Processamento de Imagens (DPI), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Laboratório de Visão Computacional do Departamento de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (LVC-DEE/PUC-RJ), e a Universidade Leibniz de Hannover (Alemanha). Este sistema de interpretação de imagens é de domínio público, possui código aberto e é baseado no *software* livre GeoAIDA (TNT – Instituto para Tecnologia da Informação, Universidade de Hannover; BÜCKNER *et al.*, 2001), do qual herdou a estrutura de conhecimento, o *design* e os mecanismos de controle (COSTA *et al.*, 2007). A versão atual do InterIMAGE (disponível em: <http://www.lvc.ele.puc-rio.br/projects/interimage/>) possui nova interface gráfica, operadores de processamento digital de imagens e funcionalidades de processamento e representação do conhecimento.

Em termos de estratégia de interpretação, o InterIMAGE possui arquitetura flexível. A combinação das análises comandadas por modelos (etapas *top-down*) e por dados (etapas *bottom-up*) melhora a sua eficiência computacional, comparada aos *softwares* que usam uma estratégia puramente comandada por dados. O sistema InterIMAGE extrapola os horizontes dos *softwares* comerciais de OBIA disponíveis atualmente porque, além de permitir a modelagem do conhecimento por meio da criação de redes semânticas, o sistema permite que operadores de processamento de imagens especializados possam ser associados aos nós das redes, e que as regras de decisão possam ser associados aos operadores, possuindo ainda funcionalidades de análise multitemporal (COSTA *et al.*, 2007; COSTA *et al.*, 2010).

O processo de interpretação de uma imagem no InterIMAGE é dividido em duas etapas: *top-down* e *bottom-up*. Na fase *top-down*, a rede semântica, pré-

definida pelo usuário, é passada ao sistema juntamente com as imagens. O sistema percorre a estrutura hierárquica da rede semântica e dispara os operadores holísticos de cada nó, formando assim uma rede de hipóteses, cujos nós são sub-regiões da imagem, candidatas ao conceito de nó (ou classe).

Na etapa *bottom-up*, todas as hipóteses são testadas e a descrição simbólica do conteúdo da cena é gerada e apresentada em uma interface gráfica de usuário (COSTA *et al.*, 2008). Nesta etapa, o sistema é encarregado de gerenciar a execução de operadores holísticos, que são programas externos ao InterIMAGE. Desta forma, o sistema gerencia a ação destes executáveis e transmite as máscaras (regiões geográficas) produzidas por eles através da rede semântica. Os operadores holísticos *top-down* podem processar qualquer tipo de imagem e em qualquer resolução, desde que estejam devidamente registradas.

O agrupamento das hipóteses e a validação ou a refutação das sub-regiões geradas na etapa *top-down* é tarefa dos operadores *bottom-up*, baseados em dados (hipóteses de regiões para os conceitos). Estes operadores também realizam a solução de conflitos, uma vez que a etapa *top-down* pode gerar polígonos geograficamente coincidentes para nós distintos, e se necessário, remodelam geometricamente as hipóteses.

A Fig. 2 representa o processo de classificação no sistema InterIMAGE. As entradas do sistema são dados de diferentes tipos e formatos (imagens, vetores, modelos digitais de elevação) e o modelo de conhecimento explícito é representado pela rede semântica. Operadores *top-down* e *bottom-up* são inseridos nos nós da rede semântica, juntamente com as respectivas regras de decisão. Após as etapas de processamento *top-down* e *bottom-up*, descritas anteriormente, o resultado é uma rede de instâncias validadas e um mapa temático, sendo que ambos possuem os mesmos níveis da rede semântica inicialmente construída pelo analista.

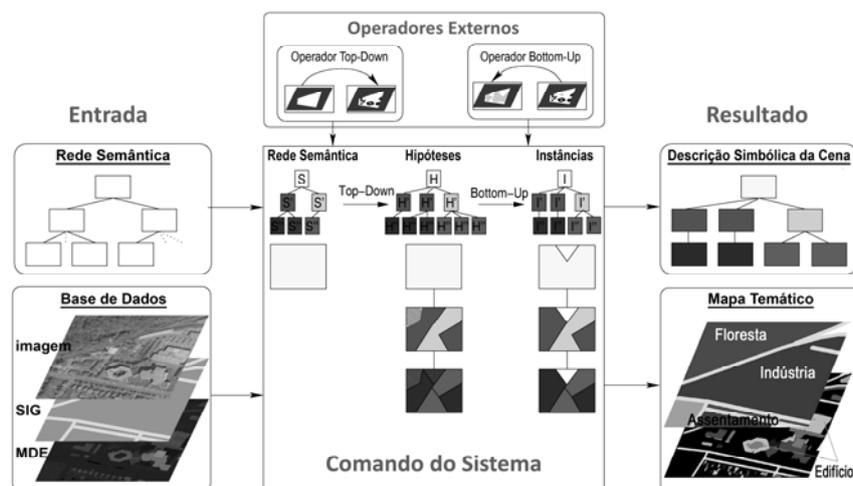


Fig. 2 - Esquema do processo de interpretação de uma cena no InterIMAGE. Fonte: adaptada de Pahl (2008).

A solução de conflitos entre hipóteses ocorre conforme definido pelo analista. De forma mais

simples, o analista pode atribuir pesos para cada conceito, sendo que o conceito com maior peso

prevalece sobre os demais. Esta atribuição supervisionada de pesos pode ser subsequente à seleção de hipóteses por regras de decisão. Existe também a possibilidade de atribuição de pesos para as hipóteses de acordo com funções *fuzzy* de pertinência (COSTA *et al.*, 2007). No caso de duas hipóteses, referentes a polígonos de tamanhos diferentes, possuem conflito espacial, e aquela com maior região geográfica perder o conflito, a área fora da intersecção com a hipótese "vencedora" ficará vazia, não-classificada.

A rede de instanciações final é resultante da

análise *bottom-up*: ao alcançarem o topo da rede semântica, os operadores *bottom-up* geram imagens rotuladas para os diferentes níveis da rede semântica (COSTA *et al.*, 2007; COSTA *et al.*, 2008).

4. ÁREA DE ESTUDO E DADOS

A área de estudo localiza-se nos municípios de Osasco e Carapicuíba, na Região Metropolitana de São Paulo, junto ao Trecho Oeste do Rodoanel Mário Covas (Fig. 3).

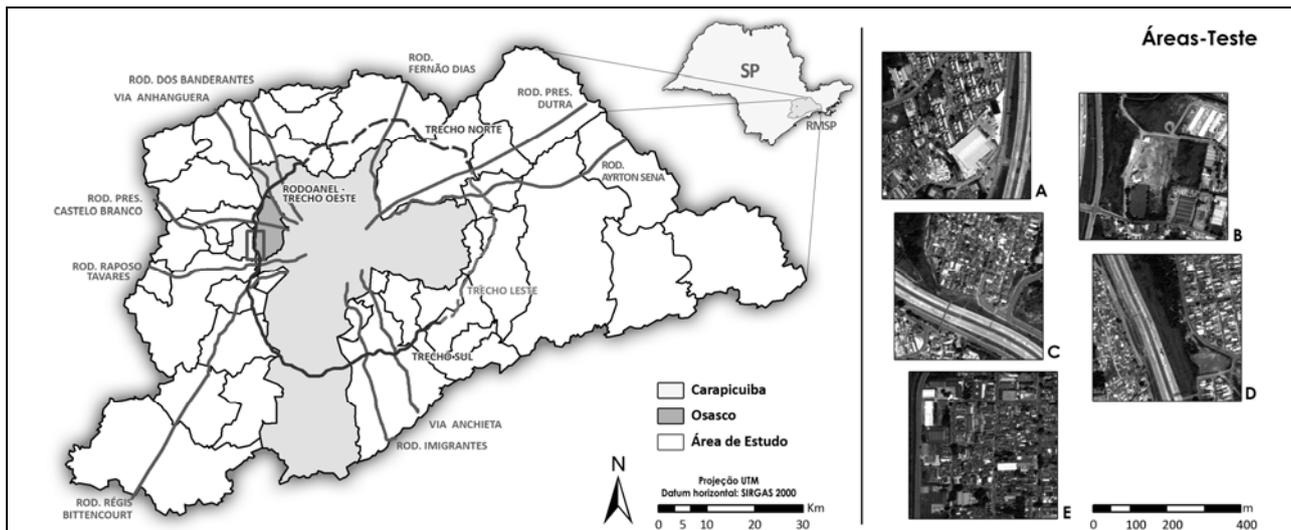


Fig. 3 - Localização da área de estudo junto ao Trecho Oeste do Rodoanel Mário Covas, na Região Metropolitana de São Paulo. Em destaque, as cinco áreas-teste estão demarcadas.

Atualmente, está em execução o segundo trecho do Rodoanel Mário Covas (SP-21), uma rodovia de acesso restrito que atravessará a RMSP (SET e FESPSP, 2004). Apesar do projeto do Rodoanel apresentar diretrizes operacionais para a redução dos impactos que serão gerados, muitos estudos têm sido realizados contestando a qualidade do projeto, incluindo questões quanto à sua localização, forma mais adequada, largura das vias, impactos no meio ambiente e nas suas comunidades periféricas, etc. A ausência de mecanismos para garantir que o projeto do Rodoanel não se descaracterize ao longo dos anos e, conseqüentemente, estimule o adensamento populacional e a especulação imobiliária no seu entorno também tem sido criticada (LABHAB, 2005).

Esses empreendimentos atraem um grande número de usuários e, conseqüentemente, de viagens, gerando mudanças no ambiente urbano. Os impactos relacionados a tais empreendimentos apresentam-se de maneira bastante ampla no ambiente urbano, alterando principalmente os padrões, as ocupações e a valorização do solo, sobretudo na área de influência direta do empreendimento. O mapeamento, identificação e posterior análise dessas alterações são de extrema relevância para o planejamento urbano e de transportes, podendo subsidiar os órgãos competentes no processo de tomada de decisão sobre a gestão físico-espacial do território.

A área de estudo foi dividida em cinco áreas-teste na região do Rodoanel, de forma que estas contemplassem a grande diversidade de alvos urbanos, como piscinas, vegetação rasteira e arbórea, diferentes tipos de telhados (diferentes materiais de cobertura), edifícios com gabaritos de altura diversos, galpões industriais, etc. Estas áreas testes, denominadas A, B, C, D e E, são mostradas no lado direito da Fig. 3. O particionamento da área de estudo nestas cinco áreas menores foi devido à limitação do sistema InterIMAGE (versão utilizada: v0.95) em processar imagens muito grandes. Versões mais recentes do sistema têm este problema resolvido.

Neste trabalho, os seguintes dados foram utilizados:

- 1) Duas imagens do sensor WorldView-II: uma imagem pancromática (resolução espacial de 0,5 m) e uma imagem multiespectral com oito bandas espectrais (resolução espacial de 2,0 m). As imagens são do tipo *OrthoRectified3*, obtidas em 6 de dezembro de 2009, com ângulo *off-nadir* 22,2° e resolução radiométrica de 11 bits.
- 2) Pontos de controle coletados em campo com equipamentos GPS geodésicos (GPS Topcon's HiPer®-L1, TOPCON, 2004).
- 3) Curvas de nível obtidas em formato vetorial, com equidistância de um metro, para a área correspondente

ao município de Osasco (SHDU, 2005a).

4) Levantamento aerofotogramétrico (EMPLASA, 1996), na escala 1:10.000, para a área correspondente ao município de Carapicuíba.

5) Arquivos vetoriais das quadras e arruamentos para os municípios de Osasco e Carapicuíba (SHDU, 2005b).

Os processamentos das imagens foram realizados utilizando os seguintes *softwares*: ENVI 4.7 (ITT, 2009), para fusão e recorte das áreas-teste, PCI Geomatica V10.3.1 (PCI GEOMATICS, 2010) para ortorretificação, e InterIMAGE v0.95 (LVC – PUC-RJ, 2010) para classificação da cobertura do solo.

5. METODOLOGIA

Os passos metodológicos realizados estão resumidos no diagrama de blocos da Fig. 4. A descrição detalhada das principais etapas de processamento segue nos itens subseqüentes.

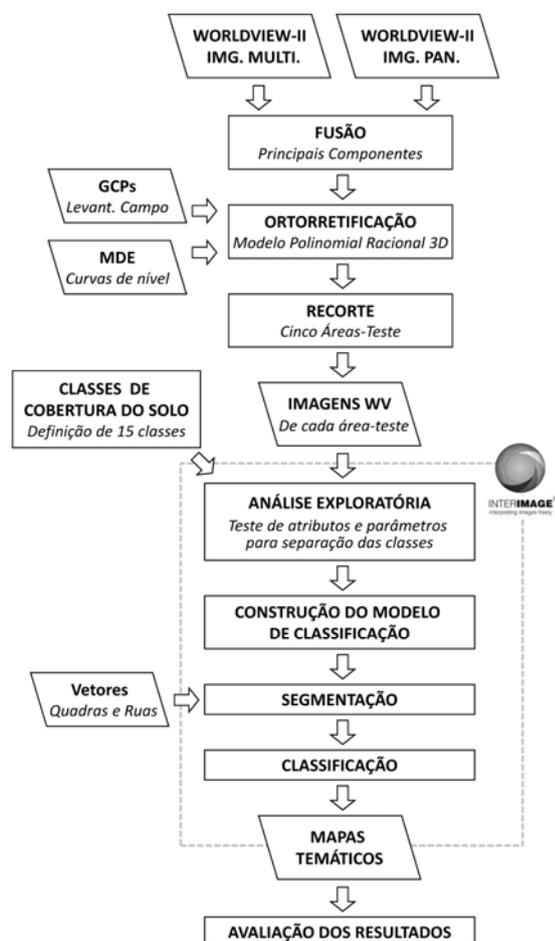


Fig. 4 – Diagrama de blocos dos passos metodológicos.

5.1 Fusão

Em sensoriamento remoto, a fusão de imagens realizada no domínio espectral tem o objetivo de aumentar a resolução espacial das bandas multiespectrais, inserindo a informação espacial mais detalhada da banda pancromática (SCHOWENGERDT,

2007). O método de fusão por Principais Componentes (CHAVEZ *et al.*, 1991) tem apresentado os melhores resultados para fusão de bandas de sensores de alta resolução espacial como o QuickBird-II (PINHO *et al.*, 2005; NOVACK, 2009) e o WorldView-II (PADWICK *et al.*, 2010). Além de não possuir limitação do número de bandas a serem fusionadas, possui boa capacidade de transferência de detalhes da imagem pancromática para a imagem sintética e, além disso, preserva a informação espectral da imagem multiespectral original (ZHANG, 2004). Baseado neste fato, a fusão das bandas pancromática e multiespectral do WorldView foi realizada pelo método de fusão por Principais Componentes, gerando um produto híbrido com resolução espacial igual a 0,50 m.

Como as bandas do sensor WorldView-II são co-registradas, as bandas pancromática e multiespectrais foram fusionadas antes do processo de ortorretificação, para facilitar a identificação de pontos de controle realizada na imagem já fusionada.

5.2 Ortorretificação

Segundo Toutin (2004), imagens brutas possuem distorções geométricas significativas que impossibilitam sua sobreposição direta com dados de origem cartográfica em um SIG. Portanto, o objetivo do processo de ortorretificação é corrigir algumas destas distorções geométricas presentes nas imagens adquiridas por sensores remotos.

A ortorretificação da imagem WorldView-II foi realizada aplicando-se o método polinomial 3D, usando a ferramenta OrthoEngine do *software* PCI Geomatics v10.3.1. Os GCPs utilizados na ortorretificação das imagens foram obtidos a partir de levantamento de campo realizado em Novembro de 2009, com o emprego de equipamentos GPS (*Global Positioning System*), de dupla frequência, o TOPCON Hiper L1. Foram coletados 68 pontos no método relativo estático. Os pontos coletados em campo foram processados em escritório, tomando como base de referência para o processamento a Estação Poli (ID: 93800), localizada na Escola Politécnica da USP, São Paulo (IBGE, 2008). O conjunto de pontos processados apresentou erros máximos da ordem de 27,5 cm para planimetria e 43,3 cm em altitude geométrica.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado na ortorretificação das imagens foi gerado a partir de dados altimétricos fornecidos pela Secretaria de Habitação e Desenvolvimento Urbano da Prefeitura Municipal de Osasco e pela Secretaria de Planejamento Urbano da Prefeitura do Município de Carapicuíba. Para isto, foi utilizado o aplicativo OrthoEngine do *software* PCI Geomatica v10.3.1, com interpolação por convolução cúbica, resultando em um produto com espaçamento de *pixel* de 1 metro.

Para a ortorretificação, foram utilizados 32 GCPs, sendo 16 para cada área de estudo. Para a validação das orto-imagens, foram utilizados 36 pontos independentes de verificação (ICPs - *Independent Check*

Points), sendo 18 para cada área de estudo. Os valores de RMSE (*Root Mean Square Error*) obtidos foram 1,15 m e 1,074 m, para as componentes planimétricas E e N, respectivamente.

Para verificar a possível tendência em determinada componente planimétrica (E, N) e a classificação planimétrica das orto-imagens geradas, segundo o PEC Nacional (Padrão de Exatidão Cartográfica – BRASIL-CONCAR, 1984), análises de tendência e precisão foram realizadas (GALO e CAMARGO, 1994). Os resultados dos testes estatísticos de *t-student* e *Qui-quadrado* mostraram que a orto-imagem está livre de tendência e atende a precisão para o PEC planimétrico "Classe A" para a escala 1:5000.

5.3 Definição das Classes de Cobertura do Solo

As classes de cobertura do solo foram definidas com base na análise visual da imagem WorldView-II e visitas a campo para reconhecimento da área de estudo e identificação dos alvos presentes na cena.

Por mais que o conhecimento empírico permita ao intérprete associar feições e tonalidades de cor na imagem a objetos do mundo real, na prática existem limitações relativas aos sensores utilizados e aos métodos de processamento de imagens disponíveis. Geralmente, em estudos de áreas urbanas, é difícil a distinção entre objetos com comportamento espectral muito semelhante, mesmo usando atributos de forma e contexto na classificação. Um dos fatores que dificulta o processo de classificação é o estado de conservação dos objetos.

Devido a esses fatores, foi realizado um agrupamento de algumas classes, para que uma classe abrangesse mais de um tipo de material. Por exemplo, a classe Telha Cerâmica abrange os diversos tipos de telhas cerâmicas (romana, francesa, clara, escura, entre outros) ou materiais em diferentes estados de conservação.

Quinze classes de cobertura do solo foram estabelecidas, considerando-se a possibilidade de sua discriminação, a saber: Vegetação Rasteira e Arbórea, Solo Exposto, Telha Cerâmica, Telha Metálica, Cobertura em Cimento Claro, Médio e Escuro, Telha de Cimento Pigmentado, Asfalto, Piso em Pedra Natural, Piscina, Cobertura em PVC (*PolyVinyl Chloride* - Cloreto de Polivinila), Córrego e Sombra.

5.4 Análise Exploratória

Após a identificação das classes de cobertura, avaliou-se o comportamento de cada classe em relação aos atributos disponíveis para a classificação. Esta análise foi realizada de forma supervisionada visualizando-se os atributos espacializados em níveis de cinza (Fig. 5). Desta forma, é possível ter o valor de todos os atributos para cada objeto representados em uma tabela e, também, visualizar os valores de um dado atributo em tons de cinza. Isto facilita a identificação dos agrupamentos de objetos com tons de cinza semelhantes e/ou diferentes, permitindo a escolha dos

atributos e os respectivos limiares mais pertinentes para separação entre as classes.



Fig. 5 – Visualização do atributo "razão da banda 1" em níveis de cinza. Os segmentos mais escuros correspondem às classes Solo Exposto e Telha Cerâmica.

5.5 Construção do Modelo de Classificação

A etapa de mapeamento da cobertura do solo foi realizada utilizando o *software* InterIMAGE v0.95. Projetos independentes foram criados para cada área-teste, usando os dados preparados nas etapas anteriores e as bases vetoriais de ruas e quadras.

O procedimento de construção da rede hierárquica levou em consideração, principalmente, o custo computacional, optando-se por uma rede com poucos níveis e muitos nós-folhas. Por exemplo, Solo Exposto, Telha Cerâmica, Asfalto, Cimento, Sombra possuem o mesmo nó-pai (Quadras).

A Fig. 6 mostra um exemplo de como as classes e os níveis foram definidos para as classificações realizadas neste trabalho.

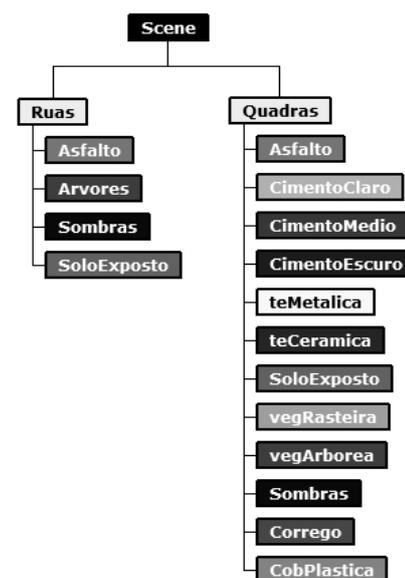


Fig. 6 – Exemplo de rede semântica para classificação das imagens com as classes utilizadas neste estudo.

O segundo nível da rede hierárquica é onde se encontram as classes de materiais que recobrem o solo propriamente ditas. Desta forma, a segmentação deveria separar bem estes objetos. De modo geral, optou-se pela super-segmentação, que resulta em mais segmentos para um mesmo alvo, e não inclui partes de alvos distintos dentro de um mesmo segmento.

5.7 Classificação

No sistema InterIMAGE, o processo de classificação de uma imagem pode ocorrer de maneiras diferentes: usando-se a abordagem *top-down* ou *bottom-up*.

Neste estudo, levando-se em conta a utilização de dados vetoriais para a separação de quadras e ruas, a estratégia que resultou em melhor desempenho computacional foi a que explora de modo mais amplo a etapa *top-down*. Seguindo esta estratégia, os nós-folhas segmentam a imagem e fazem as seleções lógicas, transmitindo ao nó-pai um número reduzido de hipóteses.

Uma vez que a segmentação, na etapa *top-down* dos nós-folhas, gerou agrupamentos de hipóteses em sub-regiões para cada classe de cobertura do solo, a classificação dos objetos ocorreu nas etapas *bottom-up*, por meio da resolução de conflitos entre as classes. O operador utilizado foi o *Generic_BottomUp* e os conflitos foram resolvidos por meio da atribuição de valores de pertinência a cada uma das classes, priorizando-se aquelas cujos atributos utilizados as definiam melhor, com menos erros de omissão e comissão.

A acurácia dos resultados obtidos na classificação da cobertura do solo foi verificada por meio da matriz de confusão e índices *Kappa* (COHEN, 1960; CONGALTON e GREEN, 1999) e *Kappa*-condicional (ROSENFELD e FITZPATRICK-LINS, 1986). A partir da matriz de confusão, medidas descritivas, como a exatidão global do usuário e do produtor, foram calculadas (STORY e CONGALTON, 1986; FOODY, 2002).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Embora as avaliações dos resultados, apresentados nesta seção, são relativas às cinco áreas mapeadas, devido à limitação de espaço, apenas o mapa temático resultante da classificação da cobertura do solo da área-teste E é ilustrada na Fig. 7. A análise visual dos mapas temáticos foi realizada para verificar se havia coerência entre as classes mapeadas e os objetos reais. De uma forma geral, esta coerência foi observada.

A Tabela 1 mostra a matriz de confusão da classificação, considerando as cinco áreas testes. Os valores do índice *Kappa* e exatidão global obtidos foram, respectivamente, 0,85 e 0,87. A separabilidade entre as classes também foi avaliada por meio do índice

Kappa-condicional (Tabela 2) e exatidão do usuário e do produtor (Tabela 1). Como se pode observar, os valores destes índices foram altos, indicando um bom nível de discriminação entre as classes.

As classes de cobertura Vegetação Rasteira e Arbórea são espectralmente muito semelhantes, e o principal atributo utilizado para a sua separação das demais classes de cobertura deste estudo é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). As imagens WorldView-II possibilitaram o uso de atributos relacionados às bandas *Yellow* e *Red-Edge*, o que melhorou a discriminação desses alvos. As duas classes apresentaram boa separabilidade, levando-se em conta que a confusão entre elas é comum em estudos de classificação da cobertura do solo em áreas urbanas (KUX *et al.*, 2007; NOVACK e KUX, 2010; PINHO, 2005, THOMAS *et al.*, 2003). Uma possibilidade para solucionar esta confusão é a utilização de atributos texturais, já que as duas classes em questão apresentam texturas diferentes, devido à presença de sombras na classe Vegetação Arbórea. As medidas texturais de Haralick (HARALICK *et al.*, 1973) estão implementadas no sistema InterIMAGE v1.15 e podem ser utilizadas para uma melhor caracterização destas classes.

As confusões de classificação observadas entre as classes Vegetação Rasteira e Solo Exposto são devido, especialmente, à menor concentração hídrica da vegetação, observado o clima mais seco na época da coleta da imagem WorldView-II (6 de dezembro de 2009). Considerando que estes alvos recebem pouca ou nenhuma manutenção com regularidade (irrigação artificial), acredita-se que o aspecto seco de gramíneas e arbustos foi o principal causador da confusão com Solo Exposto.

A classe Vegetação Arbórea apresentou confusão com a classe Sombra, o que se deve, principalmente, ao fato da identificação de alvos vegetais utilizar principalmente atributos relacionados às bandas espectrais do vermelho e do infra-vermelho próximo, com destaque para o NDVI. Certas áreas que, visualmente, são identificadas como sombras, de fato possuem valores altos na banda do infra-vermelho próximo por se tratarem de áreas com cobertura vegetal sombreadas.

Em relação aos objetos "vermelhos", a questão crucial é a separação de telhas cerâmicas e áreas de solo exposto, pois, embora, possuam composições muito semelhantes estes alvos são semanticamente diferentes. Enquanto as telhas cerâmicas representam uma construção, o solo exposto indica uma área desocupada e não-impermeabilizada. A distinção entre estas classes, no entanto, encontra dificuldades em estudos que utilizam sensores com poucas e bandas espectrais largas, uma vez que as telhas cerâmicas preservam quase fielmente os espectros dos seus materiais de origem.

Mapa Temático: Cobertura do Solo Área-teste E

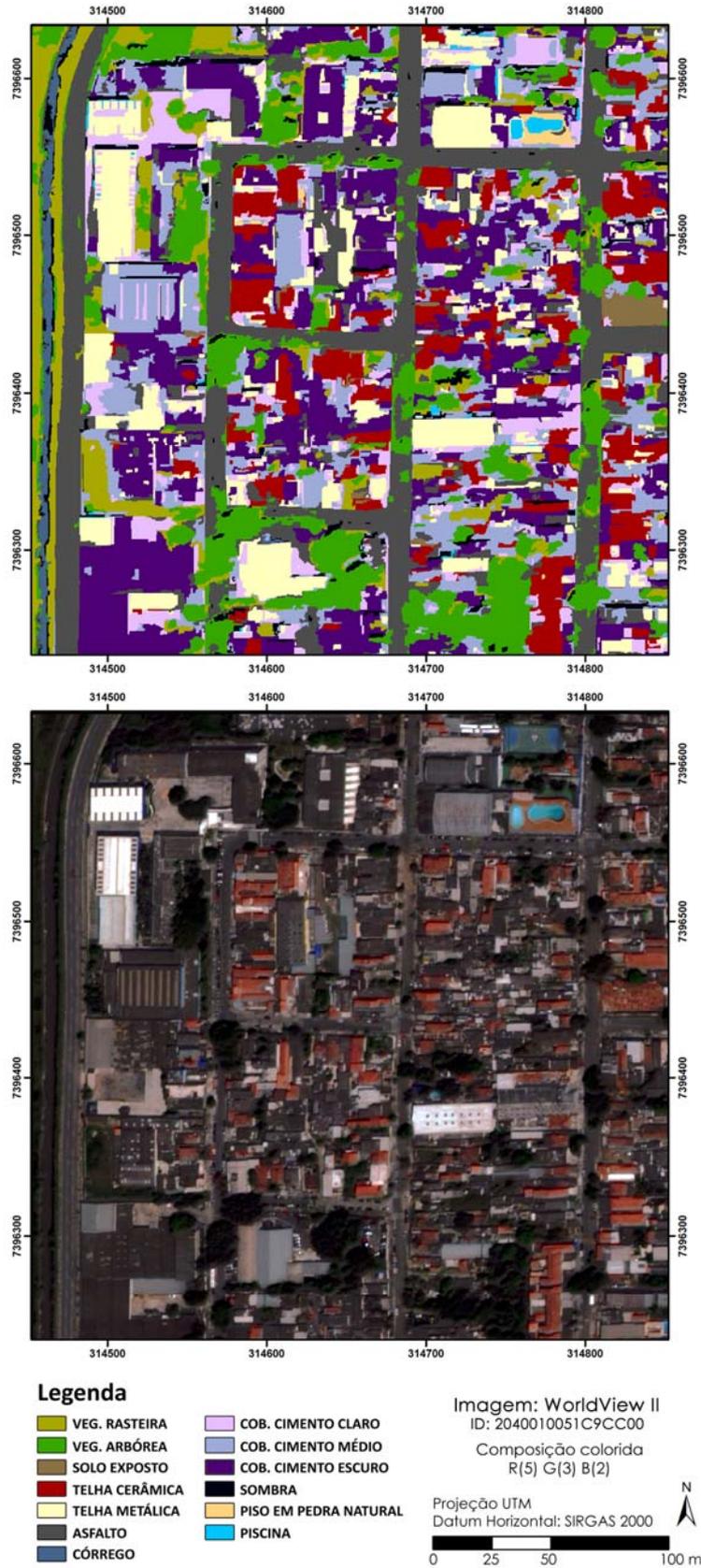


Fig. 7 – Mapa temático resultante da classificação da cobertura do solo da área-teste E.

TABELA 1 - MATRIZ DE CONFUSÃO, EXATIDÃO DO USUÁRIO E DO PRODUTOR.

Verdade (referência) Classificação	Vegetação Rasteira	Vegetação Arbórea	Solo Exposto	Telha Cerâmica	Telha Metálica	Cobertura Cimento Claro	Cobertura Cimento Médio	Cobertura Cimento Escuro	Telha de Cimento Pigmentada	Cobertura PVC	Asfalto	Sombra	Córrego	Piso em Pedra Natural	Piscina	Total	Exatidão do Usuário
	Veg. Rasteira	198	12	2	0	0	0	2	1	0	0	2	1	0	0	0	218
Veg. Arbórea	7	103	2	0	0	0	4	0	0	0	0	3	0	0	0	119	0,865
Solo Exposto	12	0	141	3	0	0	5	3	0	0	4	4	0	0	0	172	0,819
Telha Cerâmica	0	0	2	80	1	1	2	0	0	0	0	2	0	0	0	88	0,909
Telha Metálica	0	0	0	0	79	6	0	0	1	0	1	0	0	0	0	87	0,908
Cob. Cim. Claro	0	0	0	1	4	34	2	3	0	0	0	0	0	0	0	44	0,772
Cob. Cim. Médio	1	2	0	0	3	1	115	1	1	1	1	2	0	0	0	128	0,898
Cob. Cim. Escuro	2	3	0	0	0	0	11	103	0	0	2	3	0	0	0	124	0,830
Telha. Cim. Pig.	0	0	0	0	0	0	1	0	9	0	0	0	0	0	0	10	0,9
Cobertura de PVC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	10	1
Asfalto	1	0	1	0	2	3	10	10	0	0	239	3	4	0	0	273	0,875
Sombra	2	0	1	0	0	0	1	3	0	0	0	45	4	0	0	56	0,803
Córrego	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	27	0	0	30	0,9
P. Pedra Nat.	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	10	0,8
Piscina	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	10	0,9
Total	223	120	149	85	91	45	153	124	11	11	249	66	35	8	9	1379	
Exat. Produtor	0,887	0,858	0,946	0,941	0,868	0,755	0,751	0,830	0,818	0,909	0,959	0,681	0,771	1	1		

TABELA 2 – ÍNDICE KAPPA CONDICIONAL PARA AS QUINZE CLASSES DE COBERTURA DO SOLO.

Classe	Índice Kappa	Variância do Índ. Kappa
Vegetação Rasteira	0,891	0,001
Vegetação Arbórea	0,853	0,001
Solo Exposto	0,798	0,001
Telha Cerâmica	0,903	0,001
Telha Metálica	0,902	0,001
Cobertura Cimento Claro	0,765	0,004
Cobertura Cimento Médio	0,886	0,001
Cobertura Cimento Escuro	0,814	0,001
Telha de Cimento Pigmentada	0,899	0,009
Cobertura de PVC	1,000	0,000
Asfalto	0,848	0,001
Sombra	0,794	0,003
Córrego	0,897	0,003
Piso em Pedra Natural	0,799	0,016
Piscina	0,899	0,009

A classe Telha Cerâmica reúne todos os tipos de telhas cerâmicas encontradas na área de estudo, sejam claras ou escuras e de diferentes formatos (francesa, romana, portuguesa ou colonial). Este agrupamento foi realizado levando em consideração a semelhança entre seus comportamentos espectrais e significados. Embora as telhas cerâmicas coloniais (mais claras) sejam muito utilizadas em residências de baixo padrão econômico, também é comum o seu uso em residências de altíssimo padrão econômico. Assim, semelhante às telhas de fibrocimento e coberturas de laje plana de concreto, a proliferação de liquens reduz a refletância das telhas cerâmicas coloniais.

A classe Solo Exposto, geralmente, se confunde com a classe Telha Cerâmica na classificação. Com a utilização de atributos relacionados às bandas *Yellow* e *Red-Edge*, foi possível melhorar a separabilidade entre estas classes. Não obstante, alguns

erros de classificação com relação às classes Vegetação Rasteira foram observados. Contudo, os valores dos índices de acurácia por classe foram altos.

Os telhados de aço galvanizado e alumínio limpos são diferenciados pelas bandas de absorção na região do infra-vermelho próximo, sendo em 830 nm a do aço e em 1030 nm a do alumínio (MOREIRA, 2008). Estas bandas de absorção localizam-se, respectivamente, nas bandas NIR-1 e NIR-2 do sensor WorldView-II. Entretanto, o envelhecimento do material, juntamente com a oxidação e deposição de substâncias provenientes da atmosfera, aproxima seus comportamentos espectrais, dificultando a distinção do tipo de cobertura metálica sem o uso de um sensor hiperespectral. Por isso, estes dois tipos de cobertura foram agrupados na classe Telha Metálica.

As maiores confusões com a classe Telha Metálica ocorrem com as classes de materiais de cobertura acinzentados, especialmente com as classes Cobertura em Cimento Claro e Médio. Isto deve-se ao fato dos alvos metálicos serem constituídos de diferentes metais, com cores diferentes, geometrias diferentes (planos ou curvos), e conseqüentemente, respostas espectrais diferentes. As cores predominantes são azul, cinza e branco, embora possam apresentar aspecto mais escuro devido ao envelhecimento e oxidação do material, deposição de substâncias (poluição, dejetos de aves, etc.) e geometria da cobertura (oposta à iluminação solar ou ao ângulo de visada do sensor).

As classes Cobertura em Cimento Claro, Médio e Escuro foram criadas de modo a agrupar os objetos compostos principalmente por cimento. Dentre os alvos urbanos cuja composição é dominada pelo cimento, pode-se citar: telhas de fibrocimento com e

sem amianto, telhas de cimento pigmentado, coberturas de lajes planas de concreto e pavimentação em concreto. Segundo Moreira (2008), os materiais à base de cimento apresentam características espectrais mais homogêneas que os metais. Estes materiais não apresentam feições de absorção características que permitam distingui-los entre si, ainda que ocorra redução na refletância, principalmente na região do visível, ao longo do processo de envelhecimento. O uso de dados hiperespectrais permite diferenciá-los, uma vez que os objetos com amianto possuem em sua composição uma tênue feição de absorção em 2330 nm (BASSANI *et al.*, 2007; CLARK *et al.*, 2001). Contudo, como as bandas do sensor utilizado neste estudo não abrangem esta região do espectro, a discriminação das telhas de fibrocimento com e sem amianto não foi possível.

A diferenciação dos objetos de cimento em claro, médio e escuro foi feita unicamente pelo brilho observado nas imagens. Esta diferenciação, entretanto, pode fornecer informações importantes quanto ao uso do material. Por exemplo, pavimentos de concreto geralmente são mais claros que telhas de fibrocimento envelhecidas. Desta forma, para as áreas de estudo em questão, estes pavimentos foram classificados como Cobertura em Cimento Claro ou Cobertura em Cimento Médio, dependendo de sua tonalidade.

Observou-se também que os telhados residenciais de fibrocimento (com ou sem amianto) possuem brilho baixo, e na sua maioria, foram classificados como Cobertura em Cimento Escuro.

As Telhas em Cimento Pigmentado, por sua vez, apresentam um comportamento espectral diferente dos demais elementos de concreto, assemelhando-se mais ao comportamento espectral das Telhas Metálicas e das Coberturas em Cimento Claro. Isto é devido ao tipo de pigmentação utilizado. Estes tipos de telha encontrados na área de estudo possuem coloração cinza-claro.

A discriminação da classe Asfalto obteve bons resultados na classificação. Os poucos erros de omissão, podem ser explicado pelo uso de um atributo de contexto: ao inserir o arquivo vetorial de quadras e ruas na classificação das cenas, restringe-se a detecção de alvos da classe Asfalto no interior das quadras. Os erros de comissão devem-se à classificação de áreas escuras das imagens (no interior das quadras – Conjuntos Habitacionais), referentes a objetos das classes Cobertura em Cimento Escuro e Sombra.

A classe Sombra geralmente corresponde a áreas escuras na imagem, com ausência de informação. Entretanto, considerando-se que a imagem WorldView-II usada neste trabalho não foi adquirida ao nadir, as áreas sombreadas não correspondem à ausência completa de resposta espectral do alvo. Desta forma, os objetos que um intérprete humano consideraria pertencente à classe Sombra, são passíveis de serem classificados nas demais classes de cobertura do solo. Os erros de classificação relacionam-se principalmente a classes cujos objetos apresentam baixo brilho.

7. CONCLUSÃO

O objetivo principal deste trabalho foi explorar o uso das imagens WorldView-II para o mapear a cobertura do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE no processo de classificação. Por meio desta análise esperava-se que a melhor resolução espectral do sensor WorldView-II pudesse aprimorar a identificação de alvos urbanos que, normalmente, é difícil usando os sensores de alta resolução espacial atuais.

A avaliação dos resultados corroborou com a validação da hipótese deste trabalho. Os índices de acurácia obtidos ($Kappa = 0,85$ e exatidão global = $0,87$) foram maiores do que aqueles encontrados em estudos semelhantes que utilizam imagens de outros sensores orbitais de alta resolução espacial.

A confusão entre algumas classes, difíceis de serem identificadas tais como Telha Cerâmica e Solo Exposto, foi reduzida. A melhor separabilidade entre estas classes pode ser atribuída, principalmente, ao uso das novas bandas espectrais *Yellow* e *Red-Edge* do sensor WorldView-II. A banda *Yellow*, de modo especial, esteve presente nas regras de decisão para identificação de todas as classes de cobertura do solo definidas neste trabalho.

De um modo geral, a análise de separabilidade mostrou que as quinze classes foram bem discriminadas, indicando altos valores dos indicadores de acurácia e com poucos erros de omissão e comissão.

Desta forma, conclui-se que as novas bandas espectrais do sensor WorldView-II auxiliaram na discriminação de alvos urbanos melhorando, portanto, a classificação da cobertura do solo.

Em relação à metodologia utilizada, o uso do sistema InterIMAGE para a classificação da cobertura do solo urbano mostrou-se factível e eficiente, provando ser uma boa alternativa, livre e gratuita, para análises de imagens baseadas em objeto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo apoio financeiro à execução deste trabalho; à empresa Digital Globe, na pessoa do Dr. Kumar Navulur, pela cessão das imagens WorldView-II; ao Cléber Gonzales de Oliveira, Emiliano Ferreira Castejon e Thales Sehn Korting pelo apoio no desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. M.; SOUZA, I. M.; ALVES, C. D.; OLIVEIRA C. G., FEITOSA, R. Q. *Métodos Cognitivos de Classificação Aplicados a Imagens QuickBird para a Detecção de Áreas Residenciais Homogêneas*. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 61, v. 1, p. 1-12, 2009.

- BAATZ, M.; SCHÄPE, A. *Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation*. In: XII Angewandte Geographische Informationsverarbeitung, Agit Symposium, Salzburg, Áustria, 2000. **Proceedings...** Karlsruhe, Alemanha: Herbert Wichmann Verlag, 2000. p. 12-23.
- BASSANI, C.; CAVALLI, R. M.; CAVALCANTE, F.; CUOMO, V.; PALOMBO, A.; PASCUCCI, S.; PIGNATTI, S. *Deterioration status of asbestos-cement roofing sheets assessed by analyzing hyperspectral data*. **Remote Sensing of Environment**, v. 109, n. 3, p. 361-378, 2007.
- BLASCHKE, T. *Object based image analysis for remote sensing*. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, n. 65, p. 2-16, ago 2010. DOI:10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004
- BLASCHKE, T.; KUX, H. J. H. **Sensoriamento remoto e SIG avançados - novos sistemas sensores: métodos inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 2ª ed. 303 p.
- BRASIL. CONCAR. IBGE. **Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984**. Normas Cartográficas. Estabelece as instruções reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 22 de junho de 1984. Disponível em: <<http://www.concar.ibge.gov.br/detalheDocumentos.aspx?cod=8>>
- BÜCKNER, J.; PAHL, M.; STAHLHUT, O.; LIEDTKE, C. E. *GeoAIDA - A knowledge based automatic image data analyzer for remote sensing data*. In: ICSC Congress on Computational Intelligence Methods and Applications - CIMA 2001, Bangor - Wales, UK. **Proceedings...** (CD-ROM).
- CAMARGO, F. F.; ALMEIDA, C. M.; COSTA, G. A. O. P.; FEITOSA, R. Q.; OLIVEIRA, D. A. B.; FERREIRA, R. S.; HEIPKE, C. *Cognitive approaches and optical multispectral data for semiautomated classification of landforms in a rugged mountainous area*. In: GEOBIA 2010 - GEOgraphic Object Based Image Analysis, 2010, Ghent, Bélgica. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, vol. XXXVIII-4/C7. Ghent: Ghent University, 2010. (CD-ROM).
- CHAVEZ, P. S.; SIDES, S. C.; ANDERSON, J. A. *Comparison of three difference methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic*, **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 57, n. 3, p. 295-303. Mar 1991.
- CHEN, J.; HEPNER, G. F. *Investigation of imaging spectroscopy for discriminating urban land covers and surface materials*. In: X AVIRIS Workshop, Pasadena, 2001. **Proceedings...** Pasadena: Jet Propulsion Laboratory, p. 81-83, 2001.
- CINTRA, D. P.; NOVACK, T.; REGO, L. F. G.; COSTA, G. A. O. P.; FEITOSA, R. Q. *PIMAR Project - monitoring the Atlantic rainforest remnants and the urban growth of the Rio de Janeiro city (Brazil) through remote sensing*. In: GEOBIA 2010 - GEOgraphic Object Based Image Analysis, 2010, Ghent, Bélgica. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, vol. XXXVIII-4/C7. Ghent: Ghent University, 2010. (CD-ROM).
- CLARK, R. N. ; GREEN, R. O.; SWAYZE, G. A.; MEEKER, G.; SUTLEY, S.; HOEFEN, T. D.; LIVO, K. E.; PLUMLEE, G.; PAVRI, B.; SARTURE, C.; WILSON, S.; HAGEMAN, P.; LAMOTHE, P.; VANCE, J. S.; BOARDMAN, J.; BROWNFIELD, I.; GENT, C.; MORATH, L. C.; TAGGART, J.; THEODORAKOS, P. M.; ADAMS, M. *Environmental studies of World Trade Center area after the September 11, 2001 attack*. **U.S. Geological Survey Open File Report (OFR-01-0429)**. 2001.
- COHEN, J. *A coefficient of agreement for nominal scales*. **Educational and Psychological Measurement**, n. 20, p. 3746. 1960.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, R. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1999. 137 p.
- COSTA, G. A. O. P.; FEITOSA, R. Q.; FONSECA, L. M. G.; OLIVEIRA, D.; FERREIRA, R. S.; CASTEJON, E. F. *Knowledge-based interpretation of remote sensing data with the InterIMAGE system: major characteristics and recent developments*. In: GEOBIA 2010 - GEOgraphic Object Based Image Analysis, 2010, Ghent, Bélgica. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, vol. XXXVIII-4/C7. Ghent: Ghent University, 2010. CD-ROM.
- COSTA, G. A. O. P.; PINHO, C. M. D.; FEITOSA, R. Q.; ALMEIDA, C. M.; KUX, H. J. H.; FONSECA, L. M. G.; OLIVEIRA, D. *InterIMAGE: An Open Source Platform for Automatic Image Interpretation*. In: Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 24-27 jul 2007, Presidente Prudente, Brasil. **Anais...** Presidente Prudente: UNESP, 2007. 2ª ed. p. 735-739.
- COSTA, G. A. O. P.; PINHO, C. M. D.; FEITOSA, R. Q.; ALMEIDA, C. M.; KUX, H. J. H.; FONSECA, L. M. G.; OLIVEIRA, D. *InterIMAGE: Uma Plataforma Cognitiva Open Source para a Interpretação Automática de Imagens Digitais*. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 60 v. 04. Dez 2008. p. 331-337.

DIGITAL GLOBE. **Spectral Response for Digital Globe WorldView 1 and WorldView 2 Earth Imaging Instruments**. 2010a. Disponível em: <http://www.digitalglobe.com/downloads/spacecraft/WV1_WV2_SpectralResponse.pdf> Acessado em: 12 fev 2010.

DIGITAL GLOBE. **WhitePaper - The Benefits of the 8 Spectral Bands of WorldView-2**. Março, 2010b. Disponível em: <http://worldview2.digitalglobe.com/docs/WorldView-2_8-Band_Applications_WhitePaper.pdf> Acessado em: 5 maio 2010.

DURIEUX, L.; LAGABRIELLE, E.; NELSON, A. A *Method For Monitoring Building Construction In Urban Sprawl Areas Using Object-Based Analysis of Spot 5 Images And Existing GIS Data*. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, n. 63, p. 399-408, maio 2008.

EHLERS, M. *Sensoriamento remoto para usuários de SIG – Sistemas sensores e métodos: entre as exigências do usuário e a realidade*. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. (eds.) **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados - novos sistemas sensores: métodos inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 2ª ed. 303 p. Cap. 2, p. 19-38.

EMPLASA – Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S. A. Levantamento Aerofotogramétrico. Folhas: SF-23-Y-C-VI-I-NE-A, Carapicuíba; SF-23-Y-C-VI-I-NE-C, Aldeinha de Carapicuíba; escala 1:10.000. 1996.

FOODY, G. *Status of land cover classification accuracy assessment*. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, n. 1, p. 185-201, Abr 2002.

GALO, M.; CAMARGO, P. O. *Utilização do GPS no controle de qualidade de carta*. In: **Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**, In: 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário - COBRAC - 1994, Florianópolis, Brasil. **Anais...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1994. Tomo II, p. 41-48.

HARALICK, R. M.; SHANMUGAN, K.; DINSTEN, I. *Textural Features for Image Classification*. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v. 3, n. 6, p. 610-621. Nov. 1973.

HEROLD, M.; GARDNER, M.; ROBERTS, D. *Spectral Resolution Requirements for Mapping Urban Areas*. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 9, p. 1907-1919, 2003.

HEROLD, M.; ROBERTS, D. A.; GARDNER, M.; DENNISON, P. *Spectrometry for urban area remote sensing - Development and analysis of a spectral library from 350 to 2400 nm*. **Remote Sensing of Environment**, v. 91, n. 3-4, p. 304-319, 2004.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia. **RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo. Relatório de Informação de Estação: Estação Politécnica - POLI**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/RBMC/relatorio/Descritivo_POLI.pdf>

INTERIMAGE. **InterIMAGE - Interpreting Images Freely**. Disponível em: <<http://www.lvc.ele.pucrio.br/projects/interimage/>> 2010.

ITT VISUAL INFORMATION SOLUTIONS. **ENVI 4.7, version 4.7**. Boulder, Colorado, EUA, 2009.

KUX, H. J. H.; ARAÚJO, E. H. G. ; DUPONT, H. S. J. B. *Remote Sensing and GIS techniques for geological and geotechnical problems of urban areas: a case study form Belo Horizonte (Minas Gerais, Brazil)*. **Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften**, v. 158, n. 1, p. 57-65, 2007. DOI: 10.1127/1860-1804/2007/0158-0057

LABHAB – LABORATÓRIO DE HABITAÇÃO E ASSENTAMENTOS HUMANOS DA FAU-USP. **Impactos urbanísticos do Trecho Oeste do Rodoanel Mario Covas**. São Paulo: FUPAM, 2005.

LVC - PUC-RJ – Laboratório de Visão Computacional, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. **InterIMAGE v0.95**. Versão híbrida do *software release* 0.94 de 4 de maio de 2010, com operadores TerraAIDA de 25 de maio de 2010 (disponíveis em: <http://www.dpi.inpe.br/terraaida/downloads/Windows_32bits_binaries/betas/TerraAIDA_Operators_Win32_201005251417.zip>).

MOREIRA, R. C. **Estudo espectral de alvos urbanos com imagens do sensor HSS (Hyperspectral Scanner System)**. 237p. INPE-15339-TDI/1375. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

NOVACK, T. **Classificação da cobertura da terra e do uso do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE e imagens do sensor QuickBird**. 2009. 214 p. INPE-16594-TDI/1580. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

NOVACK, T.; KUX, H. J. H. *Urban land cover and land use classification of an informal settlement area using the open-source knowledge-based system InterIMAGE*. **Journal of Spatial Science**, v. 55, n. 1, p.23-41. 2010. DOI: 10.1080/14498596.2010.487640

- PADWICK, C.; DESKEVICH, M.; PACIFICI, F.; SMALLWOOD, S. *WorldView-2 Pan-Sharpening*. ASPRS 2010 Annual Conference, 2010, San Diego, Califórnia, EUA. (CD-ROM)
- PAHL, M. **Arquitetura de um sistema baseado em conhecimento para a interpretação de dados de sensoriamento remoto de múltiplos sensores**. 2003. Dissertação (*Doktor-Ingenieur* em Eletro-Técnica e Tecnologia de Informação). Universidade de Hannover, Hannover, Alemanha, 2003. Tradução: KUX, H. J. H.; FEITOSA, R. Q. 93 p. INPE-15211-TAE/71. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.
- PCI GEOMATICS ENTERPRISES INC. **PCI Geomatica-10, version 10.3.1**. Richmond Hill, Ontário, Canadá, 2010.
- PINHO, C. M. D. **Análise orientada a objetos de imagens de satélites de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intraurbano: o caso de São José dos Campos**. 2005. 180 p. INPE-14183-TDI/1095. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.
- PINHO, C. M. D.; FONSECA, L. M. G.; CASTEJON, E. F.; COSTA, G. A. O. P.; ALMEIDA, C. M.; KUX, H. J. H.; FEITOSA, R. Q. *Intra-Urban Land Cover Classification of Highresolution Images using a Knowledge-based System*. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. Vol. XXXVII/B7. Beijing 2008.
- PINHO, C. M. D.; CASTEJÓN, E. F.; KÖRTING, T. S.; OLIVEIRA, D. A. B., COSTA, G. A. O. P.; FONSECA, L. M. G.; FEITOSA, R. Q. *Caracterização de bairros urbanos em imagens de alta resolução espacial utilizando sistema de classificação baseado em conhecimento*. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - XIV SBSR, 25-30 abril 2009, Natal, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7885-7892.
- PINHO, C. M. D.; RENNÓ, C. D.; KUX, H. *Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagem Quickbird*. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16-21 abril 2005, Goiânia, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4225-4232.
- RIBEIRO, B. M. G. **Avaliação das imagens WorldView-II para o mapeamento da cobertura do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE**. 2010. 177 p. INPE-16761-TDI/1689. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-19@80/2010/08.03.12.52.20>>
- ROSENFELD, G. H.; FITZPATRICK-LINS, K. *A Coefficient of Agreement as a Measure of Thematic Classification Accuracy*. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 52, n. 2, p. 223-227. 1986.
- SCHOWENGERDT, R. A. **Remote sensing: models and methods for image processing**. 3rd ed. San Diego, USA: Academic Press, 2007. 515 p.
- SET – Secretaria de Estado dos Transportes; FESPSP – Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo. **Programa Rodoanel – Avaliação Ambiental Estratégica**. Jul 2004. 240 p.
- SHDU – Secretaria de Habitação e Desenvolvimento Urbano, Prefeitura Municipal de Osasco. **Arquivos vetoriais de curvas de nível**. 2005a.
- SHDU – Secretaria de Habitação e Desenvolvimento Urbano, Prefeitura Municipal de Osasco. **Arquivos vetoriais de quadras e arruamentos**. 2005b.
- STORY, M.; CONGALTON, R. G. *Accuracy assessment: A user's perspective*. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 52, n. 3, p. 397-399. Março 1986.
- TAUBENBÖCK, H.; ESCH, T.; WURM, M.; ROTH, A.; DECH, S. *Object-based feature extraction using high spatial resolution satellite data of urban areas*. **Journal of Spatial Science**, v. 55, n. 1, 2010. DOI: 10.1080/14498596.2010.487854
- THOMAS, N.; HENDRIX, C.; CONGALTON, R. G. *A comparison of urban mapping methods using high-resolution digital imagery*. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 69, n. 9, p. 963-972, feb 2003.
- TOPCON Corp. **Topcon's HiPer®-L1 - Product Brochure**. Livermore, Califórnia, EUA, 2004. Disponível em: <http://www.topconpositioning.com/uploads/tx_ttopconproducts/HiPerL1_Broch_REVC.pdf>
- TOUTIN, T. *Review article: geometric processing of remote sensing images: models, Algorithms and Methods*. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 10, p. 1893-1924. Maio 2004.
- ZHANG, Y. *Understanding image fusion*. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 70, n. 6, p. 657-661, 2004.