

## Classificação da Cobertura do Solo por meio do Uso de Imagem Worldview-2 e o Sistema InterIMAGE

Khalil Ali Ganem<sup>1</sup>  
Gustavo Macedo de Mello Baptista<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Brasília - UnB/IG  
Caixa Postal 4465 – 70.910-900 - Brasília - DF, Brasil  
khalilganem@hotmail.com; gmbaptista@unb.br

**Abstract.** The object-based image analysis (OBIA) systems have been widely used in the classification of use and coverage of urban areas, where it is possible to classify features of the terrestrial surface with a higher level of precision. The advance of remote sensing technologies has opened space for the emergence of multispectral sensor systems with higher resolutions than those already available in the market. However, these improvements apply to spatial, temporal and radiometric resolutions, not covering the spectral resolution, which makes it difficult to discriminate the various targets in the urban scenario. In this context, this study uses the InterIMAGE system alongside WorldView-2 satellite imagery and data mining techniques to classify the land cover in an urban portion of Brasilia-Brazil considering a total of 10 classes, such as pavements, different types of construction roofs, vegetation cover, water and bare soil. Despite the spectral mixing among some classes such as asphalt and concrete roof, and tiled roof and bare soil, the final result demonstrated a very satisfactory and effective classification, achieving approximately an overall accuracy of 89% and a *Kappa* Accuracy Index of 85%. Besides showing the efficiency of the automatic mapping of land cover, this study also explored the main functions of InterIMAGE.

**Palavras-chave:** Worldview-2, InterIMAGE, WEKA, mineração de dados, OBIA.

### 1. Introdução

A intensidade das ações antrópicas no meio natural promove a transformação dos recursos naturais, que são suprimidos em função do surgimento de edificações, pavimentações e demais alvos constituintes do cenário urbano. Isso traz uma série de consequências, como por exemplo a perda de ecossistemas e o crescimento desordenado das cidades, afetando sua infraestrutura e dificultando o planejamento urbano.

O avanço das tecnologias de sensoriamento remoto abriu espaço para o surgimento de sistemas sensores multiespectrais com resoluções superiores àqueles já disponíveis no mercado. Entretanto, essas melhorias se aplicam às resoluções espacial, temporal e radiométrica, não abrangendo a resolução espectral, o que acaba dificultando a discriminação dos diversos alvos existentes no cenário urbano. O mapeamento de áreas urbanas tem sua complexidade caracterizada, principalmente, em função da grande quantidade e semelhança das assinaturas espectrais dos seus elementos constituintes aliado às limitações dos métodos de classificação utilizados (Ribeiro, 2010).

Nesse contexto, a partir do lançamento do sensor orbital multiespectral WorldView-2 (WV-2), em outubro de 2009, novas possibilidades para a análise das propriedades espectrais de alvos urbanos surgiram, pois trata-se do primeiro sensor orbital de alta resolução espectral com 8 bandas multiespectrais. Assim, uma vez que o WV-2 trouxe melhorias em suas resoluções espacial e espectral, e considerando o aprimoramento das técnicas de processamento de imagens, torna-se então possível realizar o mapeamento da cobertura do solo em um nível de detalhamento mais elevado do que se fazia anteriormente a partir de imagens orbitais.

Os sistemas de análise de imagens orientada a objeto (do inglês OBIA – *Object-Based Image Analysis*) têm sido largamente utilizados na classificação de uso e cobertura de áreas urbanas (Kux *et al.*, 2007), onde, a partir do uso de imagens orbitais de alta resolução espacial, é possível classificar feições da superfície terrestre com um maior nível de precisão. Entretanto, a maioria destes sistemas é comercial e com elevado custo de aquisição da licença.

Além disso, eles 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 desenvolveram um sistema de interpretação de imagens baseado em conhecimento, o InterIMAGE, que possui código aberto, com uso e distribuição livre e gratuita (Costa *et al.*, 2008), e cujos estudos em aplicações urbanas têm obtido resultados exitosos.

Com isso, a principal proposta deste trabalho é avaliar o potencial de uma imagem de alta dimensão de pixels do sensor WorldView-2, considerando a resolução espacial de suas bandas multiespectrais (1,84 m.), para o mapeamento da cobertura do solo em uma porção da área urbana da cidade de Brasília, correspondente ao principal campus da Universidade de Brasília – Darcy Ribeiro – e seu entorno, por meio da utilização do sistema InterIMAGE juntamente com o minerador de dados WEKA.

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1. Área de Estudo

A Figura 1 apresenta a imagem WV-2, datada de 08 de maio de 2010, onde o principal cenário é o campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília, situado na porção centro-norte da imagem, e o entorno é caracterizado na faixa leste pelo Lago Paranoá, na faixa sul e sudeste pelo Setor de Clubes Norte e pela Vila Planalto, na faixa oeste pela via L4 Norte, na Asa Norte. O campus Darcy Ribeiro está inserido em uma área de cerca de 4 mil km<sup>2</sup>. A região possui aproximadamente 505 mil m<sup>2</sup> de área construída, nos quais estão inseridos diversos institutos, faculdades e centros de pesquisa.

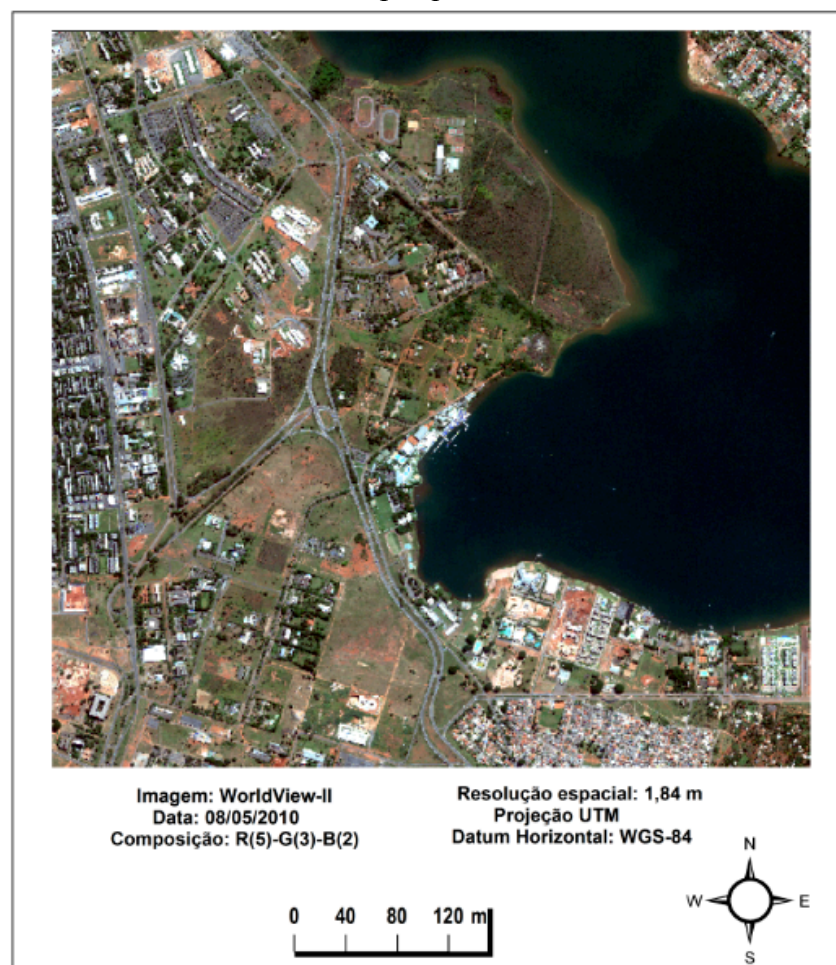


Figura 1 – Imagem do satélite WorldView-2 em composição colorida R5 G3 B2

Localizada no Distrito Federal, na região Centro-Oeste, Brasília situa-se à 15°46'48" latitude sul e 47°55'48" longitude oeste e possui uma população estimada em 2.852.372 habitantes, área aproximada de 5.780 km<sup>2</sup> e densidade demográfica de 444,66 habitantes/km<sup>2</sup> (IBGE, 2014). A altitude da região varia entre 1.000 e 1.200 metros acima do nível do mar e o clima, de acordo com a classificação de Köppen, pode ser enquadrado nos tipos tropical (Aw), e tropical de altitude Cwb (CODEPLAN, 1984). O bioma predominante na região é o Cerrado, responsável por encobrir cerca de 90% da área total do Distrito Federal.

## 2.2. Material e Métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- a) Uma imagem WorldView-2, utilizando-se as bandas multiespectrais com resolução espacial de 2 metros e resolução radiométrica de 11 bits, datada de 08 de maio de 2010, fornecida pela DIGITAL GLOBE;
- b) Software InterIMAGE, versão 4.13, obtido no site: <http://www.lvc.ele.puc-rio.br/projects/interimage/>;
- c) Aplicativo Microsoft Excel 2010 para edição do arquivo de extensão .dbf para posterior leitura do minerador de dados;
- d) Software WEKA, obtido por meio do site: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/downloading.html>.
- e) Software ArcGIS, versão 10.1.

O WorldView-2 foi lançado em 08 de outubro de 2009 e é considerado o primeiro sensor orbital de alta resolução espacial que possui oito bandas multiespectrais. São 0,46 m de resolução espacial na banda pancromática e 1,84 m nas bandas multiespectrais, além de uma resolução radiométrica de 11 bits e órbita com altitude de 770 km (DIGITAL GLOBE, 2010). Suas bandas e seus respectivos comprimentos de onda, em nanômetros, são: Pancromática (450 – 800 nm); 1 – Azul Costal (400 – 450 nm); 2 – Azul (450 – 510 nm); 3 – Verde (510 – 580 nm); 4 – Amarelo (585 – 625 nm); 5 – Vermelho (630 – 690 nm); 6 – Borda do Vermelho (705 – 745 nm); 7 – Infravermelho Próximo 1 (770 - 895 nm); e 8 – Infravermelho Próximo 2 (860 – 1040 nm).

O InterIMAGE herdou do sistema alemão GeoAIDA a sua característica funcional básica, além de estruturas de conhecimento e mecanismos de controle (INTERIMAGE, 2010). A interpretação de imagens neste sistema estrutura-se em uma rede semântica que é definida pelo usuário, onde os nós representam as classes possivelmente encontradas na cena e os arcos representam a relação entre as classes. Cada nó representa um conceito do mundo real e os arcos representam a relação entre os nós.

As classes de cobertura do solo foram definidas com base em uma análise visual das imagens e verificações realizadas em campo. No total foram definidas dez classes de cobertura do solo, sendo elas: *Asfalto*, *Cerâmica*, *Concreto*, *Corpo Hídrico*, *Piscina*, *Solo Exposto*, *Sombra*, *Telha Metálica*, *Vegetação Arbórea* e *Vegetação Rasteira*. Ao final foi criada uma classe denominada *Outros* para classificar os alvos que não se enquadraram em nenhuma das dez classes mencionadas.

Para a segmentação das dez classes utilizou-se o operador *Terra Aida\_Baatz\_Segmenter*, no sistema InterIMAGE, onde definiu-se diferentes pesos de compacidade, cor e escala para cada uma das 10 classes. Já com relação ao parâmetro “peso das bandas”, atribuiu-se peso 1 para cada uma das oito bandas do sensor WV-2 nas 10 classes. Para a classe *Outros* utilizou-se o operador holístico *Dummy Top-Down*. É importante destacar que o termo “holístico”, de acordo com Costa *et al.* (2008), se refere ao fato de que o operador permite identificar objetos sem que seja necessário identificar os que são correspondentes aos conceitos representados pelos nós da rede semântica.

Para a obtenção das árvores de decisão para as classes desejadas, foi utilizada a ferramenta *samples editor* do InterIMAGE, onde foram coletadas 40 amostras para cada classe. Em seguida, utilizando o algoritmo J48 do minerador de dados WEKA foram geradas as árvores de decisão utilizadas como parâmetro para criação das regras de decisão.

Já a inserção das regras de decisão geradas pelo minerador de dados para cada classe foi procedida por meio do operador *Top-Down*, onde, segundo Kux *et al.* (2011) os nós-folhas segmentam a imagem e fazem as seleções lógicas, transmitindo ao nó-pai um número reduzido de hipóteses. A Tabela 2 apresenta os atributos utilizados na composição da regra de decisão para cada uma das dez classes.

Tabela 1 – Atributos utilizados na estruturação da regra decisão de cada classe

CLASSES	ATRIBUTOS UTILIZADOS
Asfalto	Moda ( <i>mode</i> ) B2; Média ( <i>mean</i> ) B3; B4/B3 ( <i>bandMeanDiv</i> ); B4/B6; perpendicularidade ( <i>squareness</i> )
Cerâmica	B4/B3; B5/B2; Moda B2; NDVI; comprimento ( <i>length</i> ); Média B2; Razão B5
Concreto	Moda B2; Média B3; B4/B3; B4/B6; <i>bBoxArea</i> ; <i>ellipticFit</i> ; forma
Corpo Hídrico	Brilho ( <i>brightness</i> ); Razão B7
Piscina	Brilho; Razão B2; Razão B3; Razão B6; Razão B7
Solo Exposto	B4/B3; B5/B2; Moda B2; NDVI
Sombra	Razão B7; Média B3
Telha Metálica	NDBSI; NDBRI
Vegetação Arbórea	B4/B3; Razão B3; Razão B4
Vegetação Rasteira	B4/B3; Razão B3; Razão B4

Para a divisão entre bandas foi utilizado o atributo *bandMeanDiv*. O índice *Normalized Difference Vegetation Index – NDVI*, ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada utiliza a seguinte equação de bandas para o sensor WorldView-2 a fim de identificar a vegetação fotossinteticamente ativa:  $(B7-B5)/(B7+B5)$ . Já o *Normalized Difference Bare Soil Index – NDBSI* serve como potencial para identificação do solo exposto em uma determinada imagem, utilizando a seguinte equação:  $(B2-B1)/(B2+B1)$ . O *Normalized Difference Brick Roof Index – NDBRI*, tem sido utilizado na literatura para diferenciar tipos de telhado e conta com a seguinte equação:  $(B4-B3)/(B4+B3)$ . É importante destacar que para preencher os campos correspondentes às bandas em cada uma das equações mencionadas, foi utilizado o atributo média. Ou seja, o cálculo do NDVI, por exemplo foi feito utilizando a razão das bandas 5 e 7 da seguinte forma:  $(\text{Razão B7}-\text{Razão B5})/(\text{Razão B7}+\text{Razão B5})$ .

### 3. Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta os resultados da interpretação reunidos em um mapa temático, o qual apresenta a classificação final gerada pelo InterIMAGE.

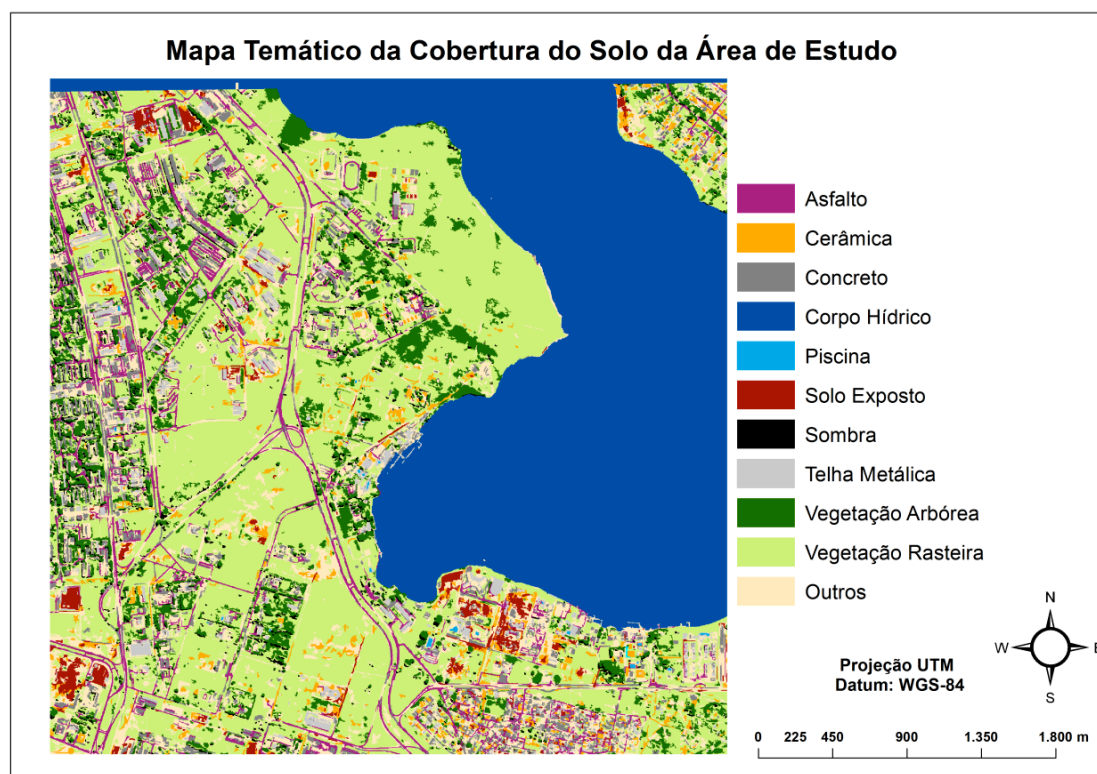


Figura 2 – Mapa Temático com resultado da classificação orientada a objeto realizada pelo sistema InterIMAGE

De modo geral, o resultado obtido pode ser considerado bastante satisfatório, principalmente se for levado em consideração o fato de a área de estudo ser de grande dimensão em termos de pixels e apresentar uma grande diversidade de materiais utilizados na cobertura do solo em contraste com os alvos naturais, como a vegetação arbórea e rasteira. Além disso, o mérito da classificação ganha ainda mais força considerando o fato de a mesma ter sido realizada sem fundir as bandas multiespectrais com a banda pancromática, fato comumente observado nas classificações desta natureza desenvolvidas com o WV-2.

A classificação demonstrou melhores resultados para as classes Sombra e Corpo Hídrico. O fato de ambas possuírem comportamentos espectrais únicos comparando com as demais classes pode explicar o êxito na classificação, onde se utilizou menor quantidade de atributos, inclusive. As classes telha metálica, piscina, vegetação arbórea e vegetação rasteira também foram exitosas, porém, apresentaram um certo grau de confusão entre si. Alguns alvos de telha metálica apresentam pixels azuis, que se confundem com os pixels da piscina. Além disso, o granito utilizado na borda da piscina, se confundiu com a telha metálica, pois ambos apresentam comportamento espectral similar. As classes de vegetação foram bem distinguidas entre si, porém, como Brasília é caracterizada por apresentar vegetação típica do bioma Cerrado, muitas vezes o aspecto ralo e esparsa da vegetação em alguns pontos pode fazer com que haja confusão com a classe do solo exposto. Durante a realização dos testes com os atributos também houve confusão da parte mais esparsa e escura do Cerrado com o asfalto, fato esse que foi minimizado ao se utilizar o atributo de divisão entre bandas, mais especificamente entre as bandas 4 e 3.

Os conjuntos de classes que apresentaram maior confusão no procedimento de classificação foram: asfalto e concreto, e solo exposto e cerâmica. Isso pode ser explicado, principalmente, em função do comportamento espectral semelhante de ambos os conjuntos de classes. O procedimento de classificação, inclusive, para ambos os conjuntos de classes foi o

que demandou mais tempo, pois foram necessários vários testes até que fosse possível encontrar um resultado satisfatório em termos visuais. Mas mesmo assim os erros se mantiveram, ainda que em menor escala. No caso das classes asfalto e concreto, os atributos geométricos que se mostraram mais úteis para a diferenciação dos alvos foram forma e perpendicularidade, respectivamente. Já os atributos comprimento e largura se mostraram ineficientes na diferenciação. Por meio desses atributos esperava-se distinguir o asfalto, que possui maior comprimento e menor largura, do concreto, que apresenta geometria inversa.

Com relação às classes Solo Exposto e Cerâmica, o atributo forma mais uma vez se mostrou ineficiente para distinguir os alvos. O solo exposto não possui características geométricas definidas, diferentemente da cobertura cerâmica, o que justificaria o êxito desse atributo na diferenciação de ambas as classes. A utilização dos índices NDBSI e NDBRI, que seriam potenciais na distinção mais precisa dos alvos não forneceram bons resultados e foram descartados na composição das regras de decisão. Além disso, alguns trechos de asfalto da imagem utilizada possuem “terra batida” na via, o que também gerou certa confusão entre as classes Solo Exposto e Asfalto. Dentre os atributos que demonstraram maior êxito na distinção entre as classes, destacam-se: moda, divisão entre as bandas 4 e 3, respectivamente, e NDVI, que contribuiu no sentido de excluir classes de vegetação que poderiam ser eventualmente classificadas erroneamente. A Tabela 2 apresenta a matriz de confusão da classificação gerada a partir da amostragem aleatória de 737 pontos distribuídos na imagem WV-2. A definição dos pontos se deu com base na equação proposta por Congalton & Green (1999).

Tabela 2 – Matriz de confusão da classificação final

	<b>A</b>	<b>CE</b>	<b>CO</b>	<b>C.H.</b>	<b>O.</b>	<b>P.</b>	<b>S.E.</b>	<b>S.</b>	<b>T.M.</b>	<b>V.A.</b>	<b>V.R.</b>
<b>Asfalto</b>	<b>37</b>	0	3	0	0	0	0	1	0	0	1
<b>Cerâmica</b>	1	<b>4</b>	0	0	0	0	5	0	0	0	2
<b>Concreto</b>	15	0	<b>17</b>	0	0	0	1	1	0	1	0
<b>Corpo Hídrico</b>	0	0	0	<b>219</b>	4	0	0	0	0	0	0
<b>Outros</b>	2	0	2	0	<b>85</b>	1	1	2	1	0	0
<b>Piscina</b>	0	0	0	0	0	<b>2</b>	0	0	0	0	0
<b>Solo Exposto</b>	0	2	1	0	0	0	<b>9</b>	0	0	0	0
<b>Sombra</b>	0	0	3	0	0	0	0	<b>10</b>	0	0	0
<b>Telha Metálica</b>	0	0	4	0	0	0	0	1	<b>6</b>	0	0
<b>Vegetação Arbórea</b>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	<b>38</b>	7
<b>Vegetação Rasteira</b>	5	1	0	0	0	1	1	0	0	11	<b>228</b>

Em termos estatísticos, a classificação gerada apresentou exatidão global de 88,87% e índice *Kappa* com 0,8561, valor este que de acordo com a tabela proposta por Landis & Koch (1977) indica excelência na qualidade do mapa temático produzido, já que, de acordo com os autores, valores entre 0,8 e 1 são enquadrados nessa categoria de desempenho.

Com relação ao desempenho do sistema InterIMAGE para a classificação da cobertura e uso da terra na área de estudo em questão, cabem algumas considerações. Primeiramente quanto ao tamanho das imagens. A maioria dos trabalhos disponíveis na literatura utilizam imagens menores do que a imagem utilizada neste trabalho, cuja dimensão é de 2048x2048 pixels. A imagem do WV-2 é considerada de alta resolução espacial sem considerar o procedimento de fusão, ou seja, a junção da banda pancromática com as bandas

multiespectrais. Entretanto, como a imagem utilizada neste trabalho possui muitas áreas bastante homogêneas e com baixa densidade de edificações, foi necessário utilizar toda a cena, sem recortes. Foi feito um teste com as imagens fusionadas e o sistema não carregou a imagem, por se tratar de um conjunto de massa de dados superior à capacidade do sistema. Frank (2014) ao desenvolver um modelo de classificação para o mapeamento de cobertura e uso da terra usando imagens do WorldView-2 e o sistema InterIMAGE, constatou que o sistema não “carrega” recortes fusionados superiores a 2500x2500 pixels.

Outro comportamento do sistema InterIMAGE observado neste trabalho foi com relação aos colapsos que podem ser gerados em função dos parâmetros de segmentação adotados. Nas tentativas de segmentação onde se utilizou parâmetro de escala menor que 30 para a imagem em questão, não se obteve nenhum sucesso. É claro que tal procedimento não se mostrou necessário para todas as classes, porém, no caso da classe Piscina, por exemplo, cujo tamanho do alvo é muito menor comparando-se às outras classes, a utilização de um parâmetro de escala ainda menor poderia ter fornecido um resultado mais satisfatório.

A exportação de amostras e atributos para o formato *shapefile* é outro fator que contribui para que o sistema entre em colapso. Foi observado, em concordância com Frank (2014), que quanto maior a quantidade de dados, sejam amostras e/ou atributos, maior a tendência do sistema entrar em colapso, levando à perda de dados e necessidade de se refazer processamentos.

A execução das etapas de classificação foi feita individualmente para cada classe. Isso quer dizer que antes de executar a classificação para uma classe, todas as outras eram desabilitadas, levando a uma análise mais criteriosa dos resultados obtidos para cada classe. Porém, ao se executar a classificação para toda a rede semântica foram necessárias cerca de dez tentativas em função dos colapsos gerados, provavelmente em função do tamanho da imagem. O êxito só foi obtido após alterar a posição das classes na rede semântica, de maneira aleatória. A execução do procedimento para toda a rede semântica durou cerca de 45 minutos.

Outro aspecto de extrema importância é com relação à atenção que deve ser dada pelo usuário a cada etapa desenvolvida para que evite que algo seja passado despercebido. Um dos momentos que requerem maior atenção do usuário é a fase de interpretação das árvores de decisão. Muitas vezes, as árvores são compostas por diversos ramos, o que exige maior conhecimento do usuário ao preencher as regras de decisão no operador escolhido.

Apesar dos problemas observados no InterIMAGE é importante que também sejam apontados seus pontos positivos, como por exemplo a gratuidade do sistema, que pode ser facilmente obtido e baixado e também com relação à sua interface gráfica que permite uma navegação relativamente simples e de fácil assimilação.

#### 4. Conclusões

A classificação do uso e cobertura do solo a partir da utilização das bandas multiespectrais do sensor WorldView-2 e do sistema InterIMAGE apresentou-se eficaz e bastante satisfatória, tendo apresentado exatidão global de aproximadamente 89% e índice *Kappa* de 0,85 (excelente).

A principal origem dos erros na classificação está principalmente na semelhança do comportamento espectral de alvos como Asfalto e Concreto, e Solo Exposto e Cerâmica. Os atributos forma e comprimento não se mostraram úteis na diferenciação do conjunto de classes Solo Exposto e Cerâmica, e Asfalto e Concreto, respectivamente. Além disso, os índices espectrais NDBSI e NDBRI não foram bem-sucedidos na diferenciação das classes Solo Exposto e Cerâmica. Entretanto, para a classificação da telha metálica, o NDBRI foi de grande valia.

Verificou-se que quanto maior a semelhança espectral entre as classes, maior a quantidade de atributos utilizados na tentativa de diferenciação. Isso pôde ser observado entre o conjunto de classes Asfalto e Concreto, e Cerâmica e Solo exposto. Já classes cujo comportamento espectral é único em comparação às demais, como Corpo Hídrico e Sombra, observou-se o contrário, ou seja, exigem a combinação de poucos atributos no êxito da classificação.

Os atributos que foram considerados essenciais na distinção entre classes foram divisão das bandas 4 e 3, e moda da banda 2, os quais contribuíram para a diferenciação da maioria das classes. Para os alvos de vegetação, além da divisão das bandas 4 e 3 os atributos razão da banda 3 e razão da banda 4 foram fundamentais.

## Agradecimentos

Ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análises Espaciais do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília por disponibilizar os equipamentos para o processamento das imagens.

## Referências Bibliográficas

COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL – CODEPLAN. **Atlas do Distrito Federal. Brasília, Secretaria de Educação e Cultura/CODEPLAN V. 1.** 78 p., 1984.

Congalton, R. G.; Green, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and applications.** Lewis Publishers, Boca Raton, Fla, 1999.

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. A. B. **InterIMAGE: uma plataforma cognitiva open source para a interpretação automática de imagens digitais.** Revista Brasileira de Cartografia, nº 60/04, 2008.

DIGITAL GLOBE. **Design and specifications.** Disponível: <http://www.digitalglobe.com/downloads/WorldView2-DS-WV2-Web.pdf>. Acesso: 23 Ago. 2015

DIGITAL GLOBE. **Spectral Response for Digital Globe Earth Imaging Instruments.** Disponível: [http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/DigitalGlobe\\_Spectral\\_Response\\_1.pdf](http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/DigitalGlobe_Spectral_Response_1.pdf). Acesso: 21 Ago. 2015.

Frank, T. **Modelo de classificação para o mapeamento de cobertura e uso da terra em áreas-teste de Santo André (SP), usando imagens WorldView-2 e o aplicativo InterIMAGE.** Dissertação (Mestrado). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

Hall, M.; Frank, E.; Holmes, G.; Pfahringer, B.; Reutemann, P.; Witten, I. H. **The WEKA data mining software: an update.** SIGKDD Explorations, 11(1): 10-18, 2009. Disponível: [http://www.cms.waikato.ac.nz/~ml/publications/2009/weka\\_update.pdf](http://www.cms.waikato.ac.nz/~ml/publications/2009/weka_update.pdf). Acesso: 30 Ago. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível: [cidades.ibge.gov.br](http://cidades.ibge.gov.br). Acesso: 15 Set. 2016.

INTERIMAGE. **InterIMAGE – Interpreting Images Freely.** Disponível: <http://www.lvc.ele.pucrio.br/projects/interimage/>. Acesso: 15 Ago. 2016.

Kux, H. J. H.; Novack, T. Ferreira, R.; Oliveira, D. A.; Ribeiro, B. M. G., 2011. **Classificação da cobertura do solo urbano usando imagens óticas de altíssima resolução e o sistema InterIMAGE baseado em conhecimento.** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1713.pdf>. Acesso: 28 Ago. 2016.

Landis, J. Richard; Koch, Gary G. **The measurement of observer agreement for categorical data.** Biometrics, p. 159-174, 1977.

Ribeiro, B. M. G. **Mapeamento da Cobertura do Solo Urbano Utilizando Imagens Worldview-2 e o Sistema InterIMAGE.** Dissertação (Mestrado). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010. Disponível: <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3826JHA>. Acesso: 23 Ago. 2016.