

## **Classificação híbrida de imagens Landsat-8 e RapidEye para o mapeamento do uso e cobertura da terra nas Unidades Amostrais de Paisagem do Inventário Florestal Nacional do Brasil.**

Naíssa Batista da Luz<sup>1</sup>  
Yeda Maria Malheiros de Oliveira<sup>2</sup>  
Maria Augusta Doetzer Rosot<sup>2</sup>  
Marilice Cordeiro Garrastazú<sup>2</sup>  
Luziane Franciscon<sup>2</sup>  
Humberto Navarro de Mesquita Júnior<sup>3</sup>  
Joberto Veloso de Freitas<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Food and Agriculture Organization of the United Nations – ONU/FAO  
Eixo Monumental, Via S-1; Campus do INMET – Setor Sudoeste  
CEP: 70680-900 Brasília, DF, Brasil  
naissa@gmail.com

<sup>2</sup> Embrapa Florestas  
Estrada da Ribeira, Km 111 Bairro Guaraituba  
{yeda.oiceira, augusta.rosot, marilice.garrastazu, luziane.franciscon}@embrapa.br

<sup>3</sup> Serviço Florestal Brasileiro  
SCEN, Trecho 2, Bl. H  
CEP: 70818-900 - Brasília - DF  
{humberto.mesquita-junior, joberto.freitas}@florestal.gov.br

**Abstract.** In response to the growing demand for reliable information on forest and tree resources as well as for land use/land cover (LULC) maps at larger scales, the Brazilian National Forest Inventory (NFI-BR) is now being conducted. Besides the traditional approaches related to forest assessment, the NFI-BR includes a geospatial component to provide such information at landscape scale. Using a sampling grid of 20 km × 20 km, field registry sample units were established, and 100 km<sup>2</sup> landscape sample units (LSU) were located on a 40 km × 40 km grid. LULC maps are being prepared for each LSU using RapidEye and Landsat-8 imagery. Different remote sensing techniques are being tested to characterize LULC in order to identify patterns in different themes using spatial analysis, such as forest fragmentation, state of conservation, production and forest health. The mapping approach uses a hybrid approach, here understood as the combination of automatic unsupervised pixel-by-pixel classification and object based image classification. Attributes from image objects such as spectral characteristics, texture, and context are also involved in process tree classification, as well as ancillary data such as roads, water bodies and digital terrain models. LULC maps are the basis for analyzing landscape-scale forest fragmentation analysis as well as for evaluating compliance of permanent preservation areas under recently approved environmental legislation.

**Palavras-chave:** object-based classification; automatic image classification; ancillary data; classificação orientada a objetos; classificação automática de imagens; dados auxiliares.

### **1. Introdução**

O Inventário Florestal Nacional do Brasil (IFN-BR), conduzido pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB) com suporte da ONU/FAO (*Food and Agriculture Organisation of the United Nations*), foi estabelecido visando possibilitar o monitoramento contínuo dos recursos florestais, fornecendo informações para subsidiar a definição de políticas públicas e a gestão e conservação desses recursos.

Além do levantamento de dados em campo, realizado em pontos amostrais distantes 20 km entre si, nas chamadas Unidades Amostrais de Registro (UARs), o IFN-BR conta também

com o levantamento de informações de uso e cobertura da terra nas Unidades Amostrais de Paisagem (UAPs), estabelecidas a cada 40 km e ocupando uma área de 10 x10 km (Figura 1). O estudo se insere no contexto do IFN-BR para fornecer informações mais precisas sobre recursos florestais em escala de paisagem, entendida como um grupo heterogêneo de ecossistemas consubstanciados em diferentes usos e cobertura da terra em interação, incluindo a vegetação, solos, fauna, água, agricultura, pecuária, dentre outros, compondo um mosaico em que tanto os componentes naturais predominantes como antropogênicos contribuem para a qualidade final dos recursos florestais ali existentes. Tais informações podem ser obtidas por meio das UAPs, que representam uma fonte de dados intermediária entre o mapeamento e os dados de campo.

Considerando que mais de 5500 UAPs serão estabelecidas e avaliadas em todo o território nacional, é fundamental o desenvolvimento de uma metodologia consistente, passível de aplicação em todos os biomas brasileiros e que gere resultados que possibilitem diferentes níveis de agregação e análise. Com esse objetivo, a Embrapa Florestas, em conjunto com o SFB e a FAO, iniciou, em 2013, um projeto-piloto para o estudo de paisagem do IFN-BR com base no processamento e análise de imagens orbitais. Estão sendo testadas diferentes técnicas de sensoriamento remoto para caracterizar os tipos de uso e cobertura da terra e, a partir destes, empregar análise espacial para identificar padrões em diferentes temas, tais como fragmentação florestal, estado de conservação ambiental, produção e sanidade florestal. Assim, o presente trabalho descreve os procedimentos metodológicos e resultados preliminares da etapa de mapeamento do uso e da cobertura da terra nas UAPs para a qual se adotou uma abordagem híbrida, aqui entendida como a combinação da classificação automática não supervisionada pixel-a-pixel e a classificação orientada a objetos.

A divisão da imagem em objetos significativos do mundo real permite que atributos sejam derivados, auxiliando no entendimento da imagem (Blaschke *et al.*, 2000). Informações semânticas necessárias para a interpretação de imagens estão, em grande parte, representadas em objetos significativos da imagem e em suas relações mútuas e não em pixels individuais (Baatz e Schäpe 1999). Sobretudo em imagens de alta resolução espacial, é bastante provável que um pixel e o seu vizinho pertençam a uma mesma classe de uso da terra, ainda que a resposta espectral não seja idêntica, já que neste tipo de imagens, pixels de uma mesma classe apresentam certa heterogeneidade ou textura (Blaschke *et al.*, 2000; Blaschke e Strobl, 2001).

A abordagem híbrida tem o potencial de combinar o melhor de dois mundos, onde os objetos de imagem fornecem informações espectrais, espaciais, de textura, contexto, geometria, dentre outras, e a classificação pixel-a-pixel fornece não somente um conhecimento prévio sobre a capacidade de separação espectral entre classes mas, também, reduz a confusão durante o processo de classificação orientada a objetos.

## **2. Materiais e Métodos**

### **2.1 Área de Estudo**

O desenvolvimento da metodologia para a análise das Unidades Amostrais de Paisagem (UAPs) foi iniciado com base em um projeto-piloto no estado do Paraná que compreende 21 UAPs, selecionadas a partir das 138 contidas no estado, de acordo com o grid oficial do IFN-BR (Figura 1). A seleção foi criteriosamente realizada de forma que as unidades amostrais selecionadas contemplem toda a variação das regiões fitogeográficas existentes no estado.

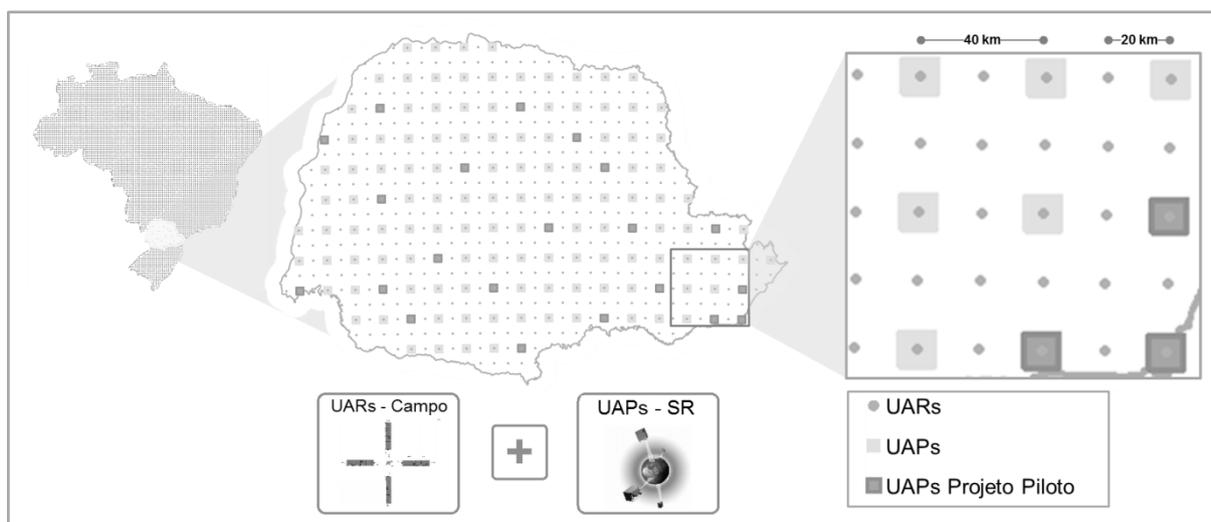


Figura 1. Disposição das Unidades Amostrais de Registro (UARs) e das Unidades Amostrais de Paisagem (UAPs) do Inventário Florestal Nacional do Brasil (IFN-BR).

## 2.2 Imagens Orbitais

Para o mapeamento do uso e cobertura da terra nas UAPs foram utilizadas imagens dos satélites RapidEye e Landsat-8. As imagens RapidEye foram disponibilizadas já em formato ortorretificado pelo Ministério do Meio Ambiente, posteriormente submetidas à calibração radiométrica recomendada pelo fornecedor. Para o recobrimento das 21 UAPs selecionadas para o desenvolvimento do estudo piloto, foram necessários recortes de 48 cenas RapidEye, adquiridas entre junho de 2012 e junho de 2013. O número de cenas RapidEye por mês de aquisição e por sensor empregadas no estudo é apresentado nas Figuras 2a e 2b, respectivamente.

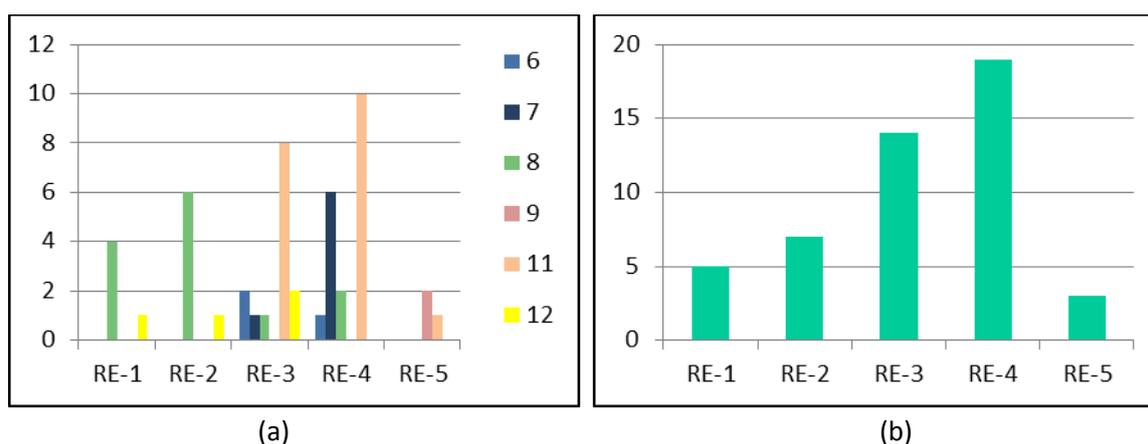


Figura 2. Meses de aquisição (algarismos na legenda) de cenas por sensor da constelação RapidEye (a) e número de cenas por sensor (b).

As imagens Landsat-8 são disponibilizadas gratuitamente por uma iniciativa conjunta entre a NASA (*The National Aeronautics and Space Administration*) e o Serviço Geológico Norte-americano (*USGS*), por meio dos servidores de dados GloVis e EarthExplorer. As imagens Landsat-8 são fornecidas ortorretificadas e também passaram pela calibração radiométrica. Foram selecionadas as cenas coletadas nas datas que mais se aproximam da data de coleta das imagens RapidEye. Como os dados do satélite Landsat-8 começaram a ser

coletados em março de 2013, estão sendo utilizadas a primeira cena disponível (data mais próxima) e também uma cena Landsat-8 do mesmo mês de aquisição da cena RapidEye, porém do ano de 2013.

## 2.3 Classificação híbrida

Uma das premissas da análise de unidades de paisagem como um componente do inventário florestal é a obtenção de informações confiáveis sobre o uso e cobertura da terra, com especial interesse na cobertura florestal, em melhor escala do que os mapeamentos oficiais existentes para o país como um todo. O componente geoespacial do IFN-BR, entretanto, não consiste, apenas, em um esforço de mapeamento, mas, sim, na determinação e caracterização da interrelação espacial existente entre a componente florestal e outras formas de uso e cobertura da terra. Não obstante, a etapa de mapeamento é de extrema importância e determinante da qualidade das demais análises que se pretendem elaborar considerando que o mapa de uso e cobertura da terra integra o conjunto de dados de entrada.

Dada a relevância da qualidade da informação gerada nesta etapa, a Embrapa Florestas em parceria com o Serviço Florestal Brasileiro e a FAO vêm desenvolvendo uma metodologia para a classificação das imagens disponíveis adotadas para o projeto, de forma que informações de qualidade a respeito do uso e cobertura da terra sejam geradas em ciclos de cinco anos. No que tange ao processamento digital de imagens, uma parceria foi estabelecida também com o JRC (*Joint Research Centre*), que tem apoiado a automatização de processos e a extração de informações a partir das imagens.

A metodologia em desenvolvimento baseia-se na classificação orientada a objetos de imagens gerados a partir das cenas RapidEye, porém conta, também, com dados de entrada obtidos a partir da classificação automática não-supervisionada pixel-a-pixel de ambas imagens, RapidEye e Landsat-8 (Figura 3). Esta classificação não supervisionada é considerada uma das etapas de pré-processamento das imagens, realizada em conjunto com a calibração das cenas, com auxílio de uma ferramenta desenvolvida pela equipe do JRC. Tal ferramenta foi disponibilizada para o projeto, que conta com o algoritmo recentemente desenvolvido pelo instituto, o PBS (*Phenology Based Synthesis*) (Simonetti et al., 2014).

O algoritmo PBS foi desenvolvido para a classificação automática de imagens Landsat-8, baseando-se na resposta espectral de séries temporais que, em associação com a fenologia da vegetação, reduz erros de classificação de imagens de uma única data. O algoritmo tem sido, no entanto, útil na classificação de imagens individuais e também do sensor RapidEye. A classificação de séries temporais de imagens Landsat e sua utilização para a discriminação de feições como agricultura versus pastagem vêm sendo incorporadas no projeto.

As imagens pré-classificadas são utilizadas na classificação orientada a objetos, que se inicia com a segmentação das imagens RapidEye. A partir dos polígonos gerados na segmentação podem ser utilizadas informações referentes à resposta espectral, contexto, geometria, posição, textura, e também as classes oriundas da classificação pixel-a-pixel. Para cada polígono é calculada a moda da classe obtida durante a pré-classificação da imagem.

Índices de vegetação, solo e água também são utilizados na árvore de processos para a classificação dos objetos de imagem, assim como índices de razão simples:

- Índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI), (Rouse *et al.*, 1974)
- Índice de solo de diferença normalizada (NDSI), (Takeuchi e Yasuoka, 2004)
- Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), (Huete, 1988)
- Índice de Umidade por Diferença Normalizada (NDWI), (Gao, 1996)
- Razão simples entre as bandas do infravermelho e do visível.

Informações auxiliares tais como arquivos vetoriais contendo informações a respeito das áreas urbanas já mapeadas, rede viária e grandes massas d'água vêm sendo utilizadas nas árvores de processo durante a classificação orientada a objetos, diminuindo erros de classificação.

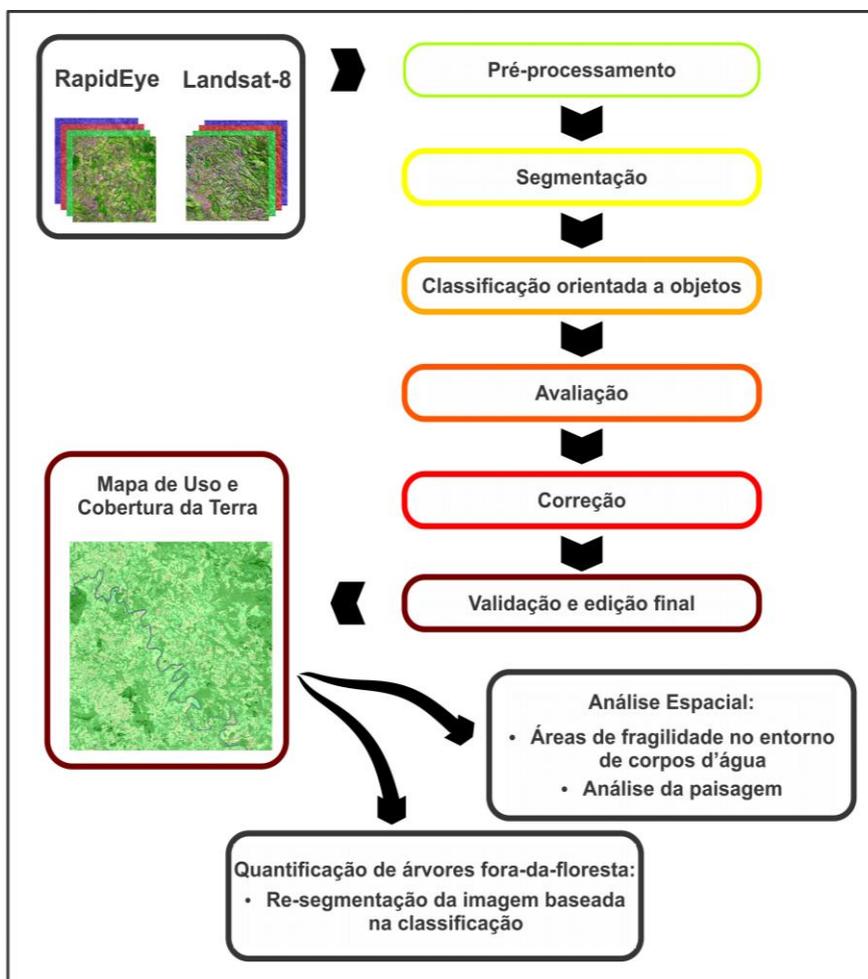


Figura 3. Fluxograma da metodologia de análise das Unidades Amostrais de Paisagem (UAPs) do IFN-BR.

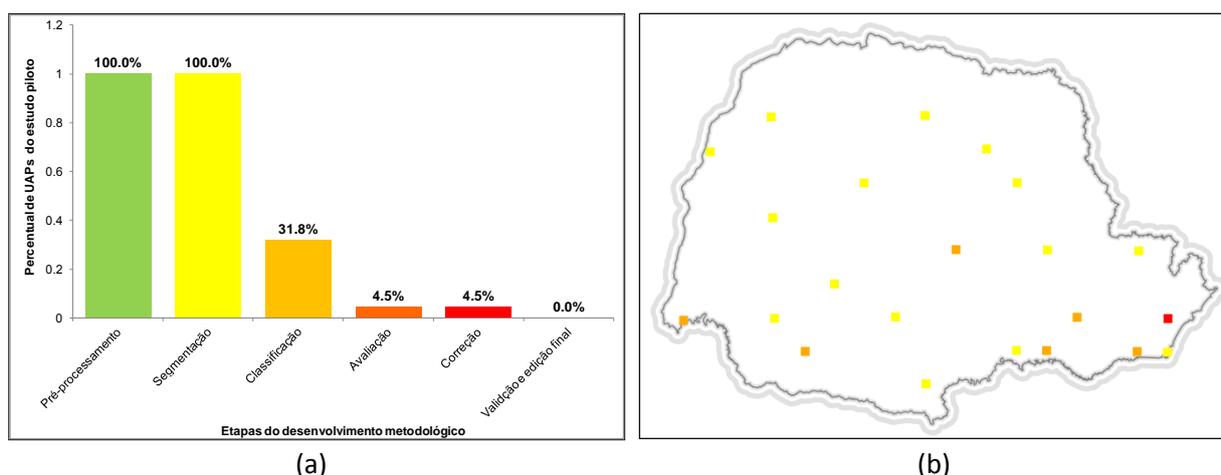
Após a classificação da imagem procede-se à avaliação da acurácia, à correção dos erros de classificação (incluindo avaliações e correções sucessivas até que se atinja 90% de acurácia) e então os mapas de uso e cobertura da terra devem passar por edição final para correção de inconsistências no arquivo vetorial. Especificamente em relação à avaliação da acurácia, estão sendo testadas diferentes intensidades amostrais de grades regulares de pontos para a coleta de dados de referência (“verdade de campo”) tendo por base os valores de acurácia obtidos na comparação pixel-a-pixel entre resultados da interpretação visual da cena e da classificação.

### 3. Resultados e Discussão

A metodologia em desenvolvimento vem atualmente sendo aplicada às 21 unidades amostrais do projeto piloto, para que ajustes sejam feitos de acordo com as diferentes situações de uso e ocupação da terra no Estado do Paraná. A evolução das atividades e o percentual de alcance de resultados pode ser acompanhado através do gráfico e da espacialização das UAPs por etapa de processamento no mapa do estado, apresentados na Figura 4.

Como se pode observar na figura, apenas uma das UAPs foi classificada e teve sua acurácia avaliada até o momento. Os resultados da comparação pixel-a-pixel entre a imagem classificada e a interpretação visual da cena para a UAP 1214, localizada no Município de Paranaguá, litoral do estado do Paraná (marcada em vermelho no mapa apresentado na Figura 4) são apresentados a seguir,

A acurácia geral da classificação resultou na correta classificação de 137.958.248 dos 168.994.812 pixels da imagem que recobre a UAP 1214, ou seja, 81,64% foram corretamente classificados. O valor do coeficiente Kappa foi igual a 0,6571. As imagens que recobrem a UAP 1214 classificadas e a interpretação visual da área correspondente são apresentadas junto ao mosaico elaborado. Tais resultados foram, a priori, considerados satisfatórios, levando-se em conta que: i) a avaliação da acurácia foi efetuada por meio de censo (comparação pixel a pixel) em contraponto à usual amostragem; ii) a metodologia ainda está em desenvolvimento e, portanto, sujeita a ajustes e adaptações e; iii) não terem sido efetuadas correções nos resultados obtidos pela classificação digital. No entanto, uma análise mais detalhada revelou um desequilíbrio na acurácia relativa às diferentes classes de uso e cobertura da terra. Algumas classes, como a de principal interesse, que é a classe de cobertura florestal, atingiu 84,4% de acerto e maior parte dos erros relacionados à omissão (15% aproximadamente, contra 4% de erros de comissão) (Tabela 1 e Tabela 2). Os corpos d'água e as nuvens presentes na imagem também foram bem classificados, com 92,18% e 90,52% de acerto, porém são classes de menor importância e de fácil separabilidade espectral.



**Figura 4. Situação das Unidades Amostrais de Paisagem do projeto-piloto de desenvolvimento de metodologia para o componente geoespacial do IFN-BR, em termos de etapa de processamento para obtenção dos mapas de uso e cobertura da terra. Em (a) número de UAPs por etapa de processamento finalizada e em (b) espacialização do andamento do projeto.**

Outra classe de bastante interesse ao IFN-BR é a classe de florestas plantadas, que engloba cultivos florestais de coníferas (como *Pinus* spp. e *Araucaria angustifolia*) e folhosas (como *Eucalyptus* spp.). Esta classe apresentou baixo índice de acerto e maior percentual de erros de omissão (80%, Tabela 2). Para corrigir este problema, estão previstos estudos da resposta espectral de cultivos florestais de diferentes espécies, idades e adensamentos. O estudo deve embasar-se no mapeamento de florestas plantadas em elaboração pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado do Paraná, desenvolvido em parceria com o SFB e diversas empresas do setor florestal no estado. O referido mapeamento fornecerá subsídios para a caracterização da resposta espectral de florestas plantadas, podendo servir não somente para cultivos no estado como também em todo o país.

A classe de solos expostos também apresentou alta confusão com outros tipos de uso e cobertura da terra, sobretudo áreas agrícolas, com apenas 19,77% de acerto. Esta confusão pode ser eliminada com a análise das séries temporais Landsat-8, adotando-se a ferramenta de

classificação cedida pela equipe do JRC, por meio do algoritmo PBS. O algoritmo tem potencial para a discriminação de áreas onde os solos encontram-se temporariamente expostos pela agricultura em relação àqueles permanentemente expostos ou expostos por outras formas de uso da terra, como mineração e na rede viária rural, onde estradas cobertas com saibro são comuns. A mesma estratégia deve ser empregada para as áreas agrícolas, principal foco na adoção da análise de séries temporais Landsat-8.

**Tabela 1. Matriz de confusão obtida pela avaliação da classificação das imagens RapidEye e Landsat-8 que recobrem a UAP 1214 do IFN-BR, localizada no Município de Paranaguá. Os números no cabeçalho e na primeira coluna referem-se às classes de uso e cobertura da terra, como segue: 1:floresta; 2:solo exposto; 3:área urbana e edificações; 4:agricultura; 5:corpos d'água; 6:florestas plantadas; 7:nuvens.**

Classificação	Interpretação Visual							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
1	<b>84.40</b>	24.34	4.23	18.95	3.67	57.03	4.16	61.68
2	1.56	<b>19.77</b>	2.77	10.74	1.66	2.49	5.32	2.60
3	4.34	21.66	<b>78.13</b>	9.33	1.38	9.86	0.00	12.50
4	8.93	30.69	14.62	<b>60.60</b>	1.11	12.54	0.00	11.11
5	0.41	3.45	0.25	0.27	<b>92.18</b>	0.00	0.00	11.56
6	0.19	0.08	0.01	0.03	0.00	<b>18.08</b>	0.00	0.20
7	0.17	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	<b>90.52</b>	0.34
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

As áreas urbanas foram relativamente bem separadas das demais, fato que se deve à utilização de arquivos vetoriais contendo informações auxiliares sobre a existência de áreas urbanas que pode ser atualizado com auxílio de arquivos vetoriais contendo redes viárias. Estes arquivos são incluídos nas árvores de processos durante a classificação orientada a objetos.

**Tabela 2. Erros de comissão, omissão, acurácia do produtor e acurácia do usuário obtidos na avaliação da acurácia pixel-a-pixel da UAP 1214 do IFN-BR, para a classificação híbrida das imagens RapidEye e Landsat-8. Os números na primeira coluna referem-se às classes de uso e cobertura da terra, como segue: 1:floresta; 2:solo exposto; 3:área urbana e edificações; 4:agricultura; 5:corpos d'água; 6:florestas plantadas; 7:nuvens.**

Classes	Comissão (%)	Omissão (%)	Acurácia do produtor (%)	Acurácia do usuário (%)
<b>1</b>	4,08	15,60	84,40	95,92
<b>2</b>	76,77	80,23	19,77	23,23
<b>3</b>	33,94	21,87	78,13	66,06
<b>4</b>	80,24	39,40	60,60	19,76
<b>5</b>	3,72	7,82	92,18	96,28
<b>6</b>	70,04	81,92	18,08	29,96
<b>7</b>	34,76	9,48	90,52	65,24



a ser amplamente utilizada para o mapeamento das Unidades Amostrais de Paisagem do Inventário Florestal Nacional.

Adicionalmente, a combinação de objetos de imagens RapidEye em conjunto com a resposta espectral fornecida pelas imagens Landsat-8 têm permitido uma melhor separabilidade espectral. Os resultados preliminares da classificação, no entanto, apontam para a necessidade de ajustes na metodologia, visando a redução da confusão entre algumas classes. A análise de séries temporais de imagens Landsat-8 para a separação de classes de uso sazonal, como a agricultura e um estudo mais detalhado da resposta espectral de plantios florestais de diferentes espécies e idades consistem dos próximos passos a serem adotados no desenvolvimento metodológico do componente geoespacial do Inventário Florestal Nacional.

## Referências

- Baatz, M. and A. Schape, 2000. Multiresolution Segmentation - An Optimization Approach For High Quality Multi-Scale Image Segmentation. *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII* Ed. J. Strobl et al. AGIT Symposium, Salzburg, Germany, pp. 12-23.
- Baatz, M. und A. Schäpe, 1999. Object-Oriented and Multi-Scale Image Analysis in Semantic Networks. The 2nd International Symposium: Operationalization of Remote Sensing, New Methodologies, 16-20 August 1999, ITC, NL.
- Blaschke, T. and J. Strobl (2001). What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. *GIS Zeitschrift für Geoinformationssysteme*, 6: 12-17.
- Blaschke, T., Lang, S., Lorup, E., Strobl, J., Zeil, P., 2000. Object-oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications. In: Cremers, A. and Greve, K. (eds.): *Environmental Information for Planning, Politics and the Public*. Metropolis Verlag, Marburg, vol 2, 555-570.
- Gao, B.-C. NDWI- A Normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, v. 58, p.257- 266, 1996.
- Huete, A.R., 1988. A soil-adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, Elsevier Science Publishing Co., New York, USA. 25:295-309.
- Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; D. W. Deering. Monitoring Vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Proceedings. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351,3010-3017. 1974.
- Simonetti, E.; Simonetti D.; Preatoni D. Phenology-based land cover classification using Landsat 8 time series. Publications Office of the European Union - Scientific and Technical Research Reports, Institute for Environment and Sustainability of the Joint Research Centre (JRC). 58p. 2014.
- Takeuchi W.; Yasuoka Y. Development of normalized Vegetation, soil and water indices derived from satellite remote sensing data *Journal of the Japan society of photogrammetry and remote sensing* 43(6), 7-19. Japan Society of Photogrammetry and Remote Sensing. 2004.