

Uso do sensoriamento remoto ótico de alta resolução para a caracterização e monitoramento qualitativo de manguezais

Luciana Satiko Arasato¹
Cristina Maria Bentz²
Rogério de Sousa Bueno Silva¹
Júlio Bandeira Guerra¹
Jorge Eduardo Santos Paes²
Leandro Rodrigues de Freitas²
Sílvia Luiz¹

¹Geoambiente Sensoriamento Remoto Ltda
Av. Shishima Hifumi 2911, 2º andar - 12244-000 - São José dos Campos - SP, Brasil
{luciana.arasato, rogerio.silva, julio.guerra, silvia.luz} @geoambiente.com.br

²Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobrás- CENPES/PETROBRAS
Ilha do Fundão - 21941-598 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil
{cris, jorgepaes, rodriguesf} @petrobras.com.br

Abstract. Mangroves are among the ecosystems more productive and sensitive to impacts by the oil spill. Therefore, works about characterization and monitoring are routinely demanded by environmental regulatory agencies. Use of optical remotely sensed of high spatial resolution to acquire of multi-temporal data in area of interest is highlighted among new technologies available to studies to feature and monitor forest. In this context, this study evaluated the use of WorldView-2 images to generate thematic maps and estimate mangrove structural parameters and biomass. APA Guapimirim mangrove (RJ) was due availability recent field data.

The following thematic maps were generated by objected-based classification (OBIA) process: "Land use and cover"; "Type of mangrove" and "Species of mangrove".

Palavras-chave: eCognition, classificação automática, WorldView-2, LiDAR, Índices de vegetação, automatic classification, Vegetation Index.

1. Introdução

O ecossistema manguezal é considerado um dos sistemas mais produtivos do mundo e de grande valor socioeconômico. Desenvolve-se principalmente na zona de transição entre os ambientes terrestres e marinhos, sujeita aos regimes das marés, em climas tropical e subtropical (SCHAEFFER-NOVELLI, 1994).

A PETROBRAS, por desenvolver várias atividades na região costeira, realiza frequentemente estudos de caracterização e monitoramento em áreas de manguezais, envolvendo recursos humanos e logísticos consideráveis devido à complexidade do ambiente, temporariamente alagado, e a dificuldades de acesso.

A busca por métodos de caracterização e monitoramento da vegetação com o uso de sensoriamento remoto, vem de encontro à necessidade de melhorar esses processos e otimizar o esforço em campo. Entre as novas tecnologias destaca-se o uso e dados ópticos de alta resolução espacial, associados a técnicas de processamento digital de imagem, que permitam a interpretação e geração de mapas de forma semi-automática.

O sistema WorldView-2 foi lançado em 2009 com resoluções espectral, espacial e temporal inéditas para este tipo de sensor. Possui 8 bandas multiespectrais, 5 na faixa do visível e 3 na do infra-vermelho próximo, com resolução espacial de 2 m; e banda pancromática com 0,5 m. Além das 4 bandas tradicionais tem 4 bandas adicionais sendo o vermelho limítrofe (*Red-edge*) e infravermelho-2, voltadas para análises e classificações de vegetação e estudos de biomassa.

Adicionalmente, dados LiDAR (*Light Detection and Ranging*) aerotransportados, tem sido utilizados em áreas de floresta (MACEDO, 2009); demonstrando o potencial de uso dos modelos derivados, na caracterização de áreas de manguezais.

Entre as técnicas de classificação de imagens, as orientadas a objetos têm sido utilizadas na classificação de imagens de alta resolução espacial. O processo busca emular o conhecimento do especialista aplicando regras de classificação em segmentos das imagens. Ao contrário da abordagem de classificação pixel-a-pixel, que usa somente atributos espectrais, neste processo atributos espaciais, geométricos, relações de vizinhança e hierárquicas podem ser utilizadas (DEFINIENS, 2003).

Neste contexto, o presente trabalho objetiva avaliar o uso combinado de dados WorldView-2 e LiDAR, em processo de classificação orientada a objetos para a caracterização qualitativa de áreas de manguezal.

Os manguezais da Área de Proteção Ambiental (APA) Guapimirim, na Baía de Guanabara (RJ) foram selecionados para este estudo devido à disponibilidade de dados de campo, do Programa de Caracterização e Monitoramento dos Manguezais da APA Guapimirim e Estação Ecológica (ESEC) Guanabara, em atendimento a licença de instalação do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ).

2. Metodologia

2.1. Dados Utilizados

2.1.1. WorldView-2

Duas cenas WorldView-2 foram adquiridas no dia 01/10/2012 para recobrir a área de estudo (Figura 1). As imagens foram corrigidas para os efeitos atmosféricos, fusionadas e ortorretificadas.

A seguir, foram calculados os principais índices de vegetação, descritos na literatura. Estes índices têm o objetivo de realçar as feições espectrais indicativas da presença e condições da vegetação (FONTANA *et al.*, 1988). Os índices gerados foram: RVI (*Ratio Vegetation Index*), NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), GNDVI (*Green Normalized Difference Vegetation Index*), SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*), EVI (*Enhanced Vegetation Index*), NDWI (*Normalized Difference Water Index*), NDSI (*Normalized Difference Soil Index*) e NHFD (*Non-Homogeneous Feature Difference*).

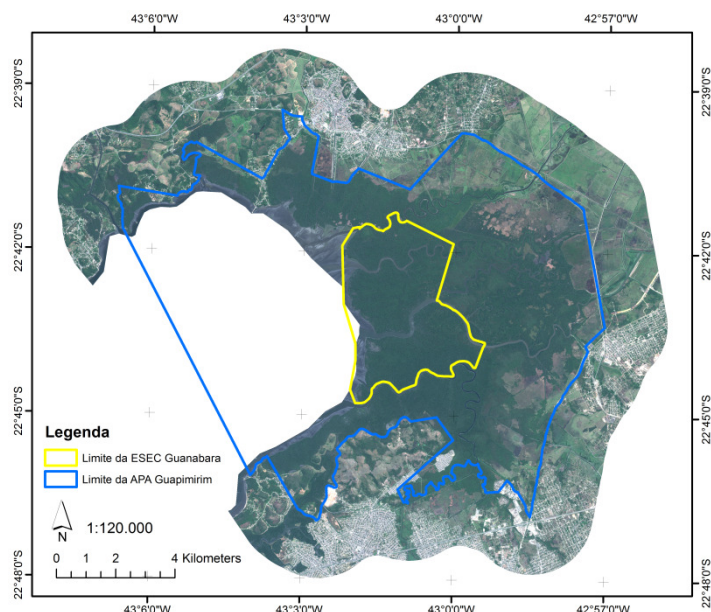


Figura 1 – Mosaico de 2 cenas da imagem WorldView-2 adquirida em 01/10/2012. Composição: 5R3G2B.

2.1.2. Dados de Campo

Os dados de campo utilizados foram coletados no Programa de Caracterização e Monitoramento dos Manguezais da APA Guapimirim e ESEC Guanabara (HABTEC, 2013), em 16 parcelas, no período entre agosto de 2011 e agosto de 2012. Além da identificação das espécies vegetais, foram medidos a altura e diâmetro do tronco a 1,3 m acima do solo (Diâmetro à Altura do Peito - DAP).

Além destes dados, trabalho de campo adicional foi realizado no período entre 06 e 10 de maio de 2013, com objetivo específico de verificar a interpretação das imagens. Neste trabalho, cerca de 150 pontos foram visitados.

2.1.3. LiDAR

O imageamento para aquisição dos dados LiDAR foi realizado pelo sistema aerotransportado Riegl 560 da empresa HANSA Geofísica e Aerolevantamento. A grande maioria das coletas ocorreu nos dias 11 e 12/12/2012, no período de maré mais próximo da baixa, melhor condição para o imageamento em áreas alagáveis.

Os modelos digitais resultantes (MDT Li e MDS Li) foram gerados a partir do processamento da nuvem de pontos, em processo supervisionado, no software Terrscan, com 0,5 m de resolução espacial. A Tabela 1 apresenta as informações técnicas dos produtos gerados.

Tabela 1 – Informações técnicas dos produtos obtidos pelo imageamento LiDAR realizado pela empresa HANSA.

<i>Área total</i>	90 km ²
<i>Sistema de referência geodésico</i>	WGS84
<i>Sistema de projeção</i>	UTM
<i>Densidade de pontos</i>	2 pontos/m ²
<i>Precisão altimétrica</i>	15 cm
<i>Precisão planimétrica</i>	50 cm

2.2. Geração de mapas temáticos

O processo de mapeamento envolveu a interpretação visual de imagens

WorldView-2, validação com dados de campo e classificação orientada ao objeto no software *eCognition* (DEFINIENS, 2003). Foram gerados os seguintes mapas temáticos: Uso e cobertura da terra, Tipos de mangue e Espécies de mangue.

O fluxograma da Figura 2 mostra as principais etapas utilizadas no processo de geração dos mapas temáticos.

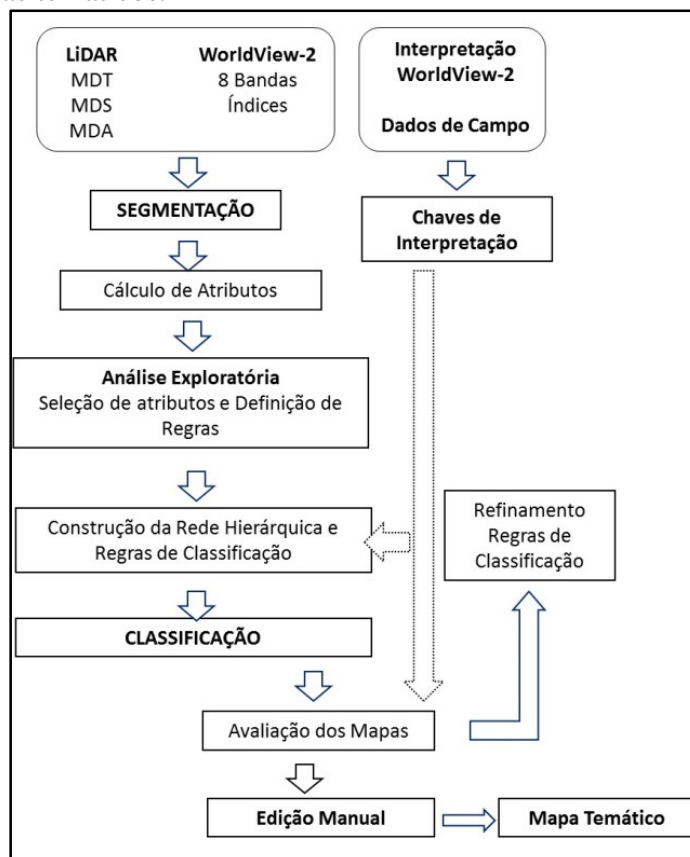


Figura 2 - Principais etapas do processo de classificação para geração de mapas temáticos.

O conhecimento do especialista foi adquirido no processo de interpretação visual das imagens WorldView-2, utilizando-se dados de campo para validação. Chaves de interpretação para as classes identificadas foram consolidadas a partir do conhecimento adquirido.

A segmentação foi realizada utilizando-se os 8 canais WorldView-2 e os dados LiDAR (MDT, MDS e MDA), com peso 2 somente para os canais 6 (*red-edge*) e 8 (NIR-2). O maior peso nestes canais visou realçar a contribuição da vegetação no processo de segmentação. Os demais valores ajustáveis: forma (*shape*) e compacidade (*compactness*); foram definidos interativamente conforme o detalhamento do mapeamento.

Após a segmentação foram extraídos atributos espectrais, geométricos e texturais, totalizando 80 atributos (Tabela 2), para cada segmento gerado.

Para análise exploratória foram geradas árvores de decisão (WEKA-C4.5) e análise de histogramas, visando a seleção de atributos e definição de regras de classificação específicas para cada mapa. O próximo passo envolveu a construção de rede hierárquica e regras de classificação.

A avaliação dos mapas gerados foi realizada através de análise visual, apoiada pelas chaves de interpretação. Esta comparação propiciou o refinamento das regras de classificação para melhoria do processo de classificação, que foi repetido sempre que melhorias significativas fossem observadas.

O produto final sofreu edição manual para ajustes finais. O volume de edições variou conforme o tipo de mapa temático gerado.

Tabela 2 - Atributos espectrais, geométricos e texturais gerados no eCognition para análise exploratória e definição das regras de classificação. Entre parênteses estão os números de atributos calculados para cada item.

Média dos valores de reflectância das 8 bandas do WorldView-2 (8)	Ratio somente para as 8 bandas do WV-2 (razão entre a banda e <i>brightness</i>) (8)
Média dos Índices de Vegetação (13)	Área do polígono formado (objeto) (1)
Média dos Modelos digitais do LiDAR - MDT, MDS e MDA (3)	Comprimento do polígono formado (objeto) (1)
Desvio Padrão dos valores de reflectância das 8 bandas do WorldView-2 (8)	Índice de borda (1)
Desvio Padrão dos Índices de Vegetação (13)	Índice de forma (1)
Desvio Padrão dos Modelos digitais do LiDAR - MDT, MDS e MDA (3)	Textura de Haralick GLCM homogeneidade - 8 bandas multiespectrais WV-2 (9)
<i>Brightness</i> (1)	Textura de Haralick GLCM Contraste - 8 bandas multiespectrais WV-2 (9)
Máxima diferença (1)	

3. Resultados e Discussão

3.1. Mapa de Uso e Cobertura

Para este mapa foram definidas sete classes: mangue, floresta terrestre, cultura, pasto, solo exposto, área construída e água (Figura 3). A análise de histogramas em pontos conhecidos foi fundamental para a definição das regras de classificação capazes de discriminar as classes definidas.

O resultado da classificação automática foi refinado com ajuste das regras e edição manual. Mesmo com vários atributos, as regras de classificação obtidas não foram suficientes para separar as classes de vegetação de forma automática, principalmente nas transições entre as classes.

A edição manual baseada no conhecimento do intérprete foi fundamental.

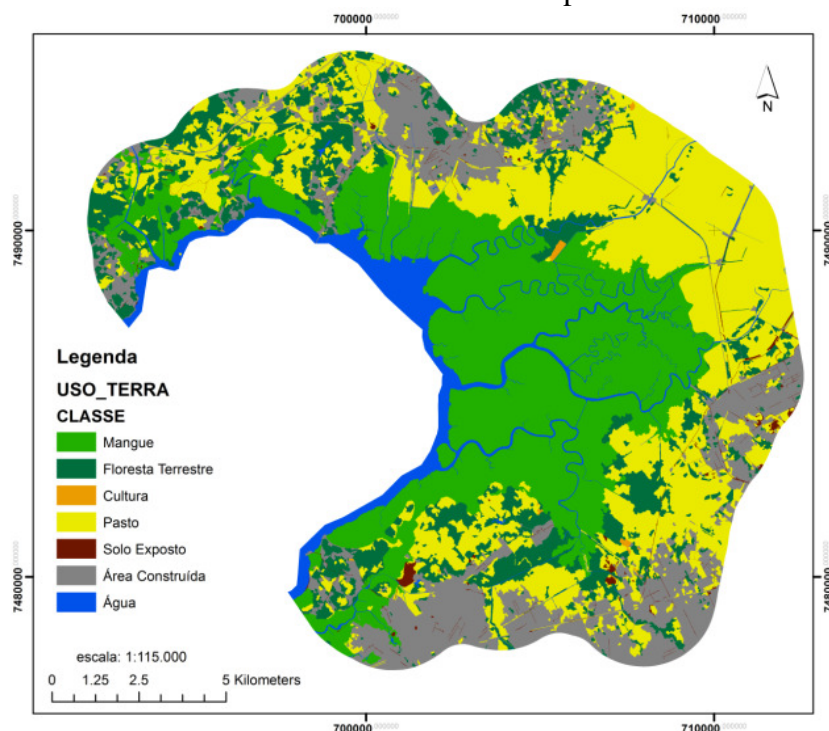


Figura 3 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra da APA Guapimirim.

3.2. Mapa de Tipos de Manguê

Neste mapa, a área de manguê foi detalhada, com discriminação entre as seguintes classes: manguê, manguê com espécie associada, espécie associada e clareiras (Figura 4).

O valor médio da altura da vegetação foi o atributo principal para a separação entre áreas de ocorrência exclusiva de mangues. Nestas áreas, foram discriminadas 3 classes, conforme a altura média da vegetação, através do fatiamento do MDA LiDAR. Áreas de solo exposto foram classificadas como clareiras.

Neste mapa também houve refinamento de regras e edições manuais, principalmente para corrigir áreas de solo exposto classificadas erroneamente como manguê com espécie associada ou espécie associada.

Para a escala de detalhamento deste mapa, não foi possível a discriminação entre segmentos com diferentes tipos de espécies associadas. Na maioria dos segmentos há uma mistura das espécies *Hibiscus pernambucensis*, *Acrostichum aureum*, *Typha domingensis* e complexo arbóreo-herbáceo, que serão detalhadas no mapa de espécies de manguê.

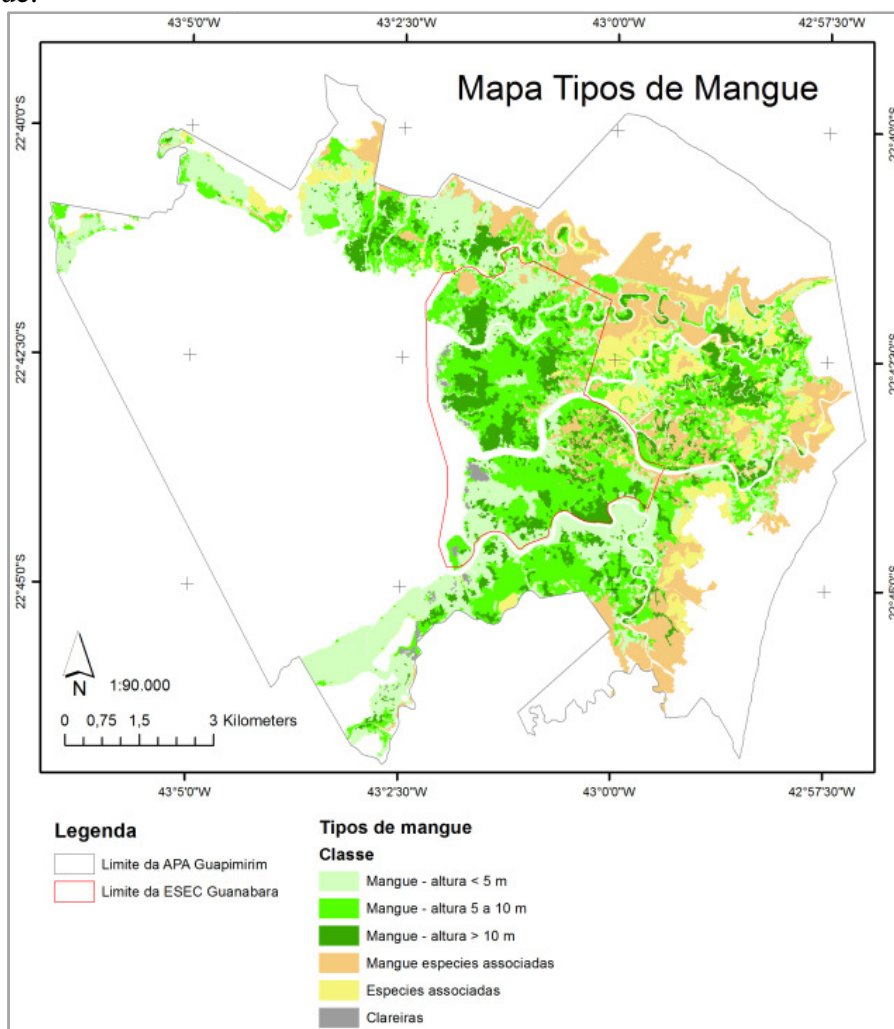


Figura 4 - Mapa de tipos de manguê na APA Guapimirim.

3.3. Mapa de Espécies do Manguê

Para este mapa foi necessário um processo de segmentação diferenciado, utilizando um valor de escala que permitisse a geração de segmentos menores e mais homogêneos, que contivessem uma única espécie. As seguintes classes foram diferenciadas (Figura

5): *Rhizophora mangle*, *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa*, *Espécie associada – Hibiscus pernambucensis*, *Espécie associada – Acrostichum aureum*, *Espécie associada – Typha domingensis* (taboa), *Complexo arbóreo-herbáceo*, *solo exposto/água* e *Apicum*.

Novamente várias edições foram necessárias para melhoria do produto gerado automaticamente. Houve confusões frequentes entre os diferentes tipos de mangue e destes, com as áreas de *Complexo arbóreo-herbáceo*.

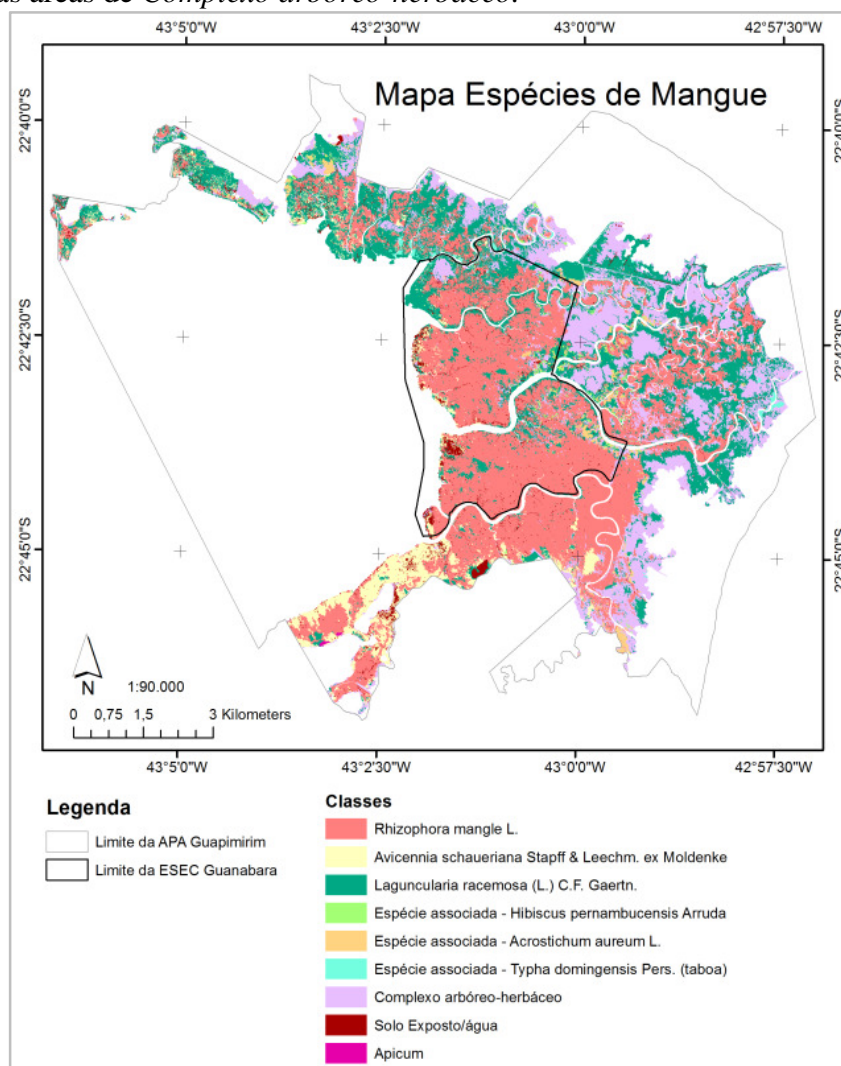


Figura 5 – Mapa de espécies do mangue na APA Guapimirim.

4. Conclusões

Os resultados obtidos evidenciaram a contribuição dos produtos ópticos de alta resolução espacial para o mapeamento detalhado de áreas de manguezais, permitindo a discriminação entre as principais espécies, bem como a individualização de clareiras, na área da APA Guapimirim.

O acompanhamento multitemporal dos mapas temáticos gerados permitirá o monitoramento espacial para identificação dos eventuais impactos na região.

Os dados LiDAR foram essenciais para a discriminação entre bosques com espécies de alturas discrepantes, na etapa de segmentação. Na etapa de classificação a média do MDA (modelo digital de altura) foi importante na separação da floresta de mangue das outras classes, no mapa de tipos de mangue. No mapa de espécies, a média do MDA também foi importante, principalmente, para separar as espécies arbóreas típicas do

mangue das espécies associadas ao mangue que apresentam, no geral, características arbustivas.

Para a interpretação visual dos diferentes tipos de vegetação a partir do WorldView-2, a melhor composição foi a R6G3B2 ou R7(ou8)G3B2, permitindo a identificação das principais espécies do mangue presentes na região da APA Guapimirim.

O processo de classificação orientada ao objeto sistematizou o trabalho de mapeamento. A segmentação facilitou a definição dos limites entre as classes, enquanto que o processo de classificação permitiu a identificação correta das classes da maioria dos segmentos gerados. Os atributos espectrais derivados dos canais WorldView-2 foram os principais dados de sensoriamento remoto utilizados para a separação dos alvos.

No entanto, muitas edições manuais baseadas em chaves de interpretação visual, foram necessárias para finalização dos produtos. Principalmente na confecção do mapa de uso e cobertura, as edições manuais baseadas no conhecimento do intérprete foram fundamentais.

Ao mesmo tempo em que a alta resolução espacial e espectral das imagens facilitou a identificação e discriminação visual dos contornos e detalhamento dos alvos, também adicionou complexidade ao processo de classificação utilizado. Foi necessário alto grau de detalhamento na definição de classes e regras de classificação complexas, para que o algoritmo fosse capaz de separar de forma adequada as classes desejadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem a PETROBRAS pelo financiamento da pesquisa e autorização para disseminação dos resultados, em especial a equipe de implantação do COMPERJ pela disponibilização dos dados do Programa de Monitoramento dos Manguezais da APA Guapimirim e ESEC Guanabara.

Referências Bibliográficas

DEFINIENS. **eCognition: user guide 3**. Germany, 2003, 480 p.

FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, A. Relação entre índice de vegetação global e condições hídricas no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.8, p. 1399-1405, 1988.

HABTEC. **Programa de Monitoramento dos Manguezais da APA Guapimirim e ESEC Guanabara - Subplanos Vegetação - Relatório final**. Rio de Janeiro, 2013. 280p.

MACEDO, R.C. **Estimativa volumétrica de povoamento clonal de *Eucalyptus* sp. Através de laserscanner aerotransportado**. 2009. 143 p. INPE-15743-TDI/1488. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/02.13.04.40>>.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y., 1994. Tabela referente ao Módulo 2 “Os ambientes costeiros e marinho: aplicação dos conhecimentos científicos a um adequado manejo”; sessão 7 “Ecossistemas costeiros brasileiros”, organizada por ocasião do “Course on the Integrated Management of Coastal and Marine Areas for Sustainable Development”, realizado no Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, Brasil, 09 a 20 de maio de 1994, sob a égide da ONU.