

METODOLOGIAS DE MONITORAMENTO FLORESTAL ATLÂNTICO DERIVADO DE IMAGENS DE SATÉLITE DE ALTA RESOLUÇÃO¹

Luiz Felipe Guanaes Rego

PhD em Recursos Naturais

Professor do Departamento de Geografia

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

regoluiz@puc-rio.br

Resumo

Esta pesquisa visou o desenvolvimento de uma metodologia de classificação semi automática multitemporal do padrão de cobertura florestal atlântico com vistas a detectar as alterações de cobertura incidentes sobre os fragmentos florestais derivadas de imagens IKONOS de alta resolução. Para tal se selecionou a porção norte do maciço da Pedra Branca na cidade do Rio de Janeiro onde foram adquiridas imagens dos anos de 2009 e 2010. As imagens foram ortorretificadas e classificadas visualmente. Posteriormente utilizando o conhecimento geográfico gerado na classificação visual se criou um modelo semântico de classificação que foi implementado no software Interimage. Os resultados se mostraram promissores sugerindo que a integração dos dois métodos viabiliza maior rapidez e confiabilidade no processo de classificação.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Imagens de Alta Resolução, Classificação Visual, Floresta Atlântica.

METHODOLOGIES FOR MONITORING ATLANTIC FOREST DERIVED FROM HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGES

Abstract

This research aimed to develop a methodology for semi-automatic classification of multitemporal pattern of Atlantic forest cover. The main objective was to detect changes in coverage that occurred in forest fragments derived from IKONOS high-resolution images. To do this you have selected the northern portion of the massif of Pedra Branca in the city of Rio de Janeiro where images were acquired of the years 2009 and 2010. The images were visually rated and ortorretificadas. Later using geographic knowledge generated in the visual classification is created a semantic model of classification that has been implemented in software InterImage. The results were promising suggesting that integration of the two methods allows greater speed and reliability in the classification process.

Keywords: Remote Sensing, High Resolution Imaging, Visual Classification, Automatic Classification, Atlantic Forest.

¹ O presente trabalho é parte integrante dos seguintes projetos de pesquisa: a) *Metropolização e transformações no espaço e na paisagem do Estado do Rio de Janeiro* (FAPERJ. Edital Emergente APQ1- Processo E-26/110.320/2010) e; b) *“As águas estão acabando”: arqueologia e ecologia do uso de recursos hídricos por populações tradicionais da Mata Atlântica*. (Edital MCT/CNPq 14/2009 – Universal, processo 472525/2009-3).

Introdução

A Mata Atlântica é um bioma que acompanha a história do Brasil e vem sofrendo diferentes tipos de pressões antrópicas durante séculos. Os resultados, resultante de mapeamentos cartográficos derivados de imagens do satélite de média resolução (Landsat 6 e 7), não são animadores. Atualmente existe aproximadamente 8% da área original do Bioma Atlântico presente no início da colonização do país em 1500 (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2012).

O Bioma Atlântico se estende numa faixa quase contínua no litoral, do sul ao norte do país. Esta região é ocupada por 80% da população e abrange a mesma proporção em relação à produção econômica.

Belo e complexo o Bioma Atlântico é composto por uma enorme biodiversidade que pode, no caso dos ecossistemas florestais, além de sua estrutura em extratos: herbáceo, arbustivo e florestal, ser composto por mais de uma centena de espécies florestais por hectare. As fotos do espaço, as imagens de satélite que captam a energia solar refletida das árvores, mostram apenas o topo das copas das árvores, uma visão muito restrita do conjunto do que esta de fato ocorrendo no recorte florestal a ser mapeado.

O continuo florestal que a mata Atlântica ocupava na faixa litorânea brasileira se dividiu e hoje se encontra muito fragmentado basicamente em função dos diferentes usos que o espaço vem adquirindo com o tempo e, neste, mesmo tempo, o uso que vem sendo dada a própria floresta. O estado do Rio de Janeiro expressa bem este quadro: áreas com forte declividade e de difícil ocupação antrópica urbana ainda mantém fragmentos maiores, em alguns casos, preservados por parques, e uma pulverização em número e tamanho dos fragmentos florestais em direção as áreas mais planas e mais densamente ocupadas.

As manchas florestais atlânticas vistas a partir do detalhe numa perspectiva municipal, além de fragmentadas, são bordadas por todo o tipo de uso estabelecido tanto pelo adensamento populacional como pelo tipo de atividade desenvolvida, assim como delimitadas por condicionantes geomorfológicas. Este quadro expressa muita complexidade espacial que em

muito dificulta a utilização de metodologias tradicionais de fiscalização e controle baseado em trabalho de campo e denúncias (REGO, 2008).

O desenvolvimento de metodologias de classificação do padrão de ocupação dos fragmentos florestais atlânticos derivadas de imagens de alta resolução se justifica tanto pelo padrão geomorfológico como do adensamento populacional da região costeira, sendo os fragmentos florestais atlânticos remanescentes pressionados de forma generalizada e pulverizada. Inicialmente se optou por implantar um projeto piloto na cidade do Rio de Janeiro em função de uma serie de peculiaridades que permitirão adequar o estudo a varias outras cidades brasileiras que convivem diretamente com o Bioma Atlântico.

Os métodos tradicionais de classificação de cobertura de imagens de satélite de alta resolução e de fotos aéreas são baseados em técnicas de fotointerpretação ou classificação visual que são precisas, lentas na sua execução e um tanto quanto subjetivas de acordo com o conhecimento pretérito do foto interprete. Métodos automáticos de classificação automática baseada em ambiente de objetos, adequados a classificação de imagens de alta resolução sugerem maior agilidade e estabilidade tornando a classificação multitemporal um sistema eficiente de monitoramento que poderá contribuir de forma mais consistente com a administração local no sentido de direcionar ações de preservação para garantir a manutenção dos fragmentos florestais atlânticos na cidade (REGO, 2008).

Em síntese a pesquisa visou o desenvolvimento de uma metodologia semiautomática de classificação de cobertura derivada de imagens de satélite de alta resolução a partir de um estudo de caso do Parque Estadual da Pedra Branca que se encontra na zona oeste do município do rio de janeiro.

Materiais e métodos

Foram adquiridas dois conjuntos de imagens estereopares IKONOS de alta resolução nos anos de 2009 e 2010 da porção norte do Parque Estadual da Pedra Branca na cidade do Rio de Janeiro. A partir dessas imagens foi produzido um modelo digital de elevação que foi validado através de pontos de controle adquiridos em campo com GPS diferencial.

De cada estereopar foi selecionado uma imagem que foi ortorretificada se utilizando dos modelos digitais derivados das próprias imagens IKONOS.

As imagens ortorretificadas 2009 e 2010 foram classificadas através de técnicas de fotointerpretação individualmente. Como se objetivou gerar uma classificação automática que teria como referencia a classificação visual foi necessário à segmentação da imagem em objetos que foram classificados. Em seguida produziram-se chaves de classificação para cada classe de cobertura abrangendo as classes em si e as várias transições encontradas como floresta/campo e campo/área urbana que fundamentaram os parâmetros de decisão para os mapeamentos de cobertura 2009 e 2010. A figura 1 descreve a metodologia empregada.

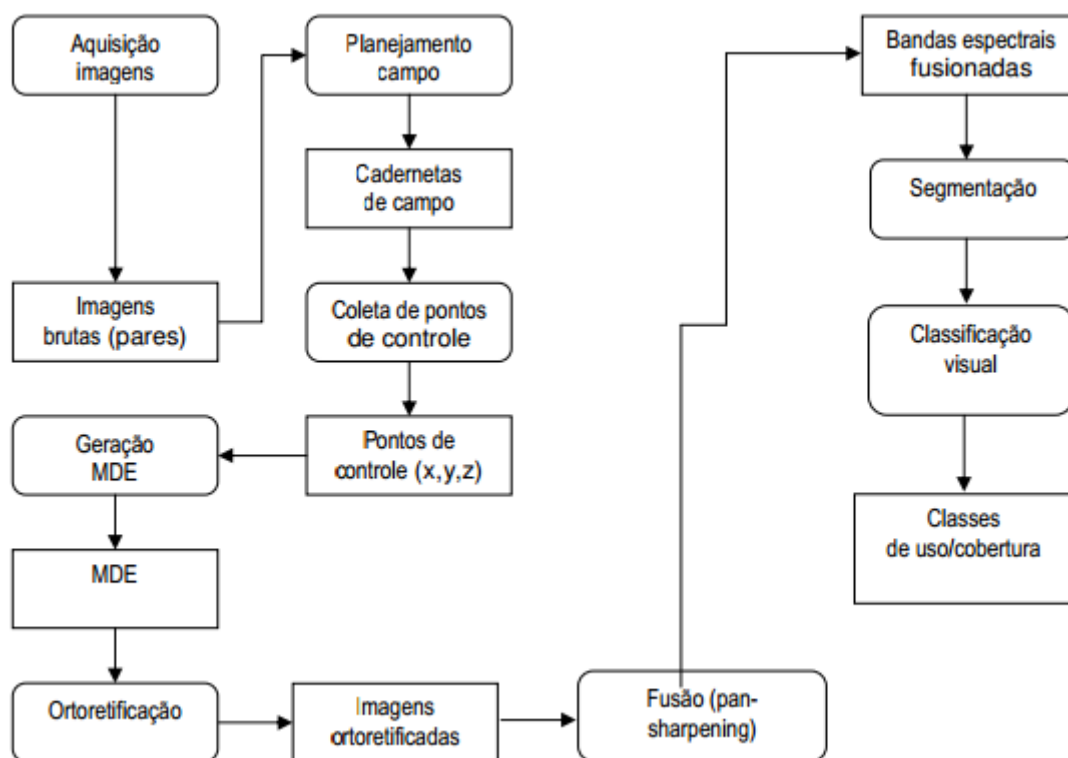


Figura 1: Metodologia utilizada para preparação das imagens que foram classificadas.

As duas classificações de cobertura foram comparadas através de procedimentos de álgebra de matrizes visando se identificar as alterações de cobertura que ocorreram na área teste.

As mesmas imagens ortorretificadas foram classificadas de forma automática baseada em técnicas de classificação baseada em objetos assim a partir das chaves de classificação desenvolvidas para a classificação visual se

criou um modelo semântico que foi implementado no software Inter Image. Estas classificações foram comparadas com as classificações visuais validando o método.

As descrições detalhadas das metodologias empregadas na pesquisa podem ser encontradas em NIMA/PUC-Rio (2012).

Resultados e discussões

Este item foi dividido em “Classificação de cobertura da porção norte do Parque Estadual da Pedra Branca (2009-2010) através de técnicas de interpretação visual” e “Classificação de cobertura da porção norte do Parque Estadual da Pedra Branca (2009-2010) através de técnicas automáticas de classificação baseada no ambiente de objetos”.

Classificação de cobertura da porção norte do Parque Estadual da Pedra Branca através de técnicas de interpretação visual

As imagens foram classificadas através de técnicas de foto interpretação por um grupo de quatro graduandos em geografia divididos em dois grupos coordenado por dois alunos de mestrado em geografia no Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geografia da PUC RIO. Cada grupo classificou as duas imagens 2009 e 2010. Essas classificações foram comparadas e corrigidas mutuamente bem como as referidas chaves de classificação. O trabalho se mostrou muito lento, quatro meses, e bastante complexo no tocante a delimitação dos limites entre as classes de cobertura decorrente da subjetividade do processo de classificação visual.

Na figura 2 está o resultado da classificação da imagem IKONOS da porção norte Maciço da Pedra Branca 2009 e a tabela 1 descreve as classes e suas porcentagens.

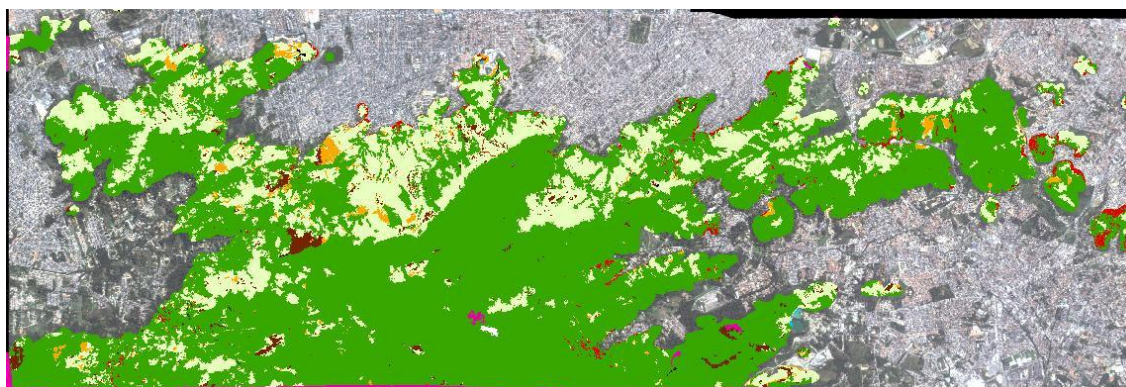


Figura 2: Padrão de cobertura do solo do Maciço da Pedra Branca em 2009.

Tabela 1: Porcentagem das classes levantadas no Maciço da Pedra Branca (Vertente Norte) 2009.

CLASSES	%
Afloramento Rochoso	1,52
Campo	22,50
Solo Exposto	1,63
Vegetação	70,85
Sombra	0,08
Água	0,02
Área Edificada	1,18
Não classificada	2,17
Nuvem	0,05
Total	100

Na Figura 3 está o resultado da classificação da imagem IKONOS do Maciço da Pedra Branca 2010.

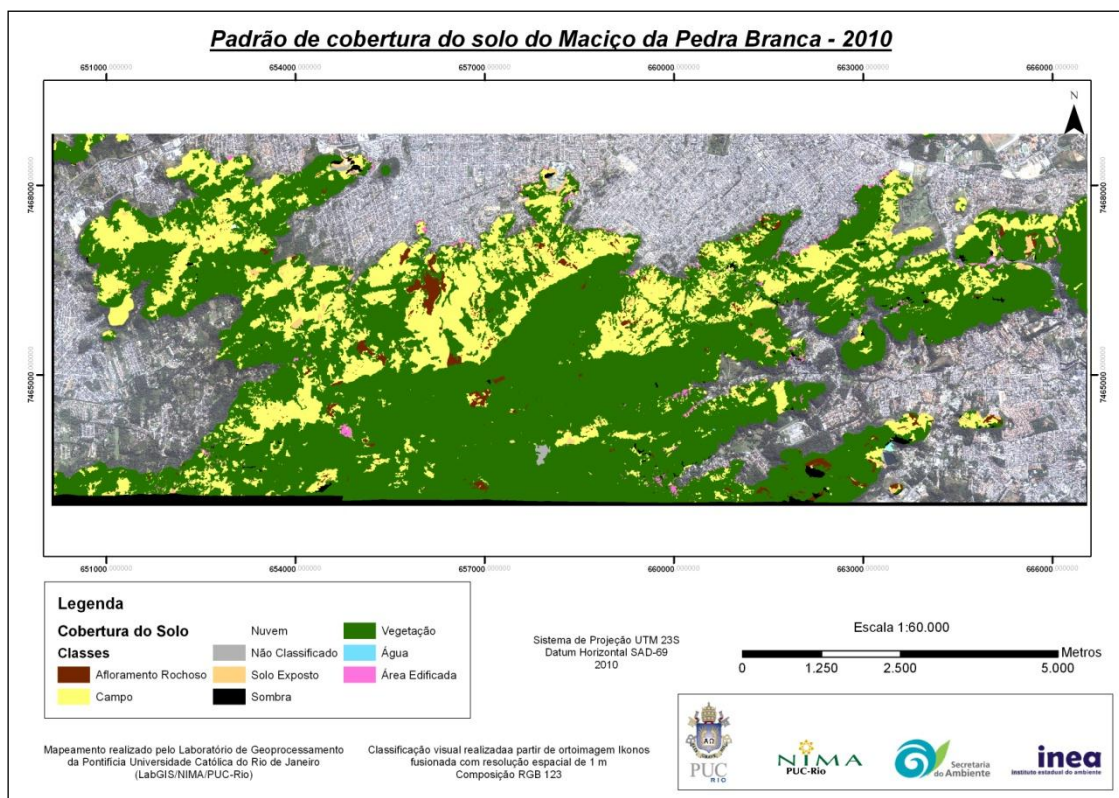


Figura 3: Padrão de cobertura do solo do Maciço da Pedra Branca em 2010.

A tabela 2 descreve as classes de cobertura e suas porcentagens referentes ao ano de 2010.

Tabela 2. Porcentagem das classes 2010.

CLASSES	%
Afloramento Rochoso	2,046
Campo	6,916
Solo Exposto	0,880
Vegetação	74,241
Sombra	3,735
Água	0,059
Área Edificada	10,296
Não classificada	1,826
Nuvem	0,001
Total	100

As classificações de cobertura de 2009 e 2010 foram validadas a partir dos trabalhos iniciais de campo que geraram uma base de pontos georreferenciados que serviram para adequar o modelo de ortorretificado e validar as classes de cobertura.

Como o objetivo da pesquisa foi monitorar a supressão arbórea da expansão urbana sobre as áreas protegidas do município através do estudo de caso porção norte do maciço da Pedra Branca só se avaliou as alterações de cobertura que envolvia as variações da classe floresta para a classe campo ou edificação.

Foi realizada a comparação entre as classificações de cobertura entre os anos de 2009 e 2010. Foram encontrados 127 pontos de mudança (figura 4), totalizando uma área de 14.793,19 m.² ou 1,47 hectares.

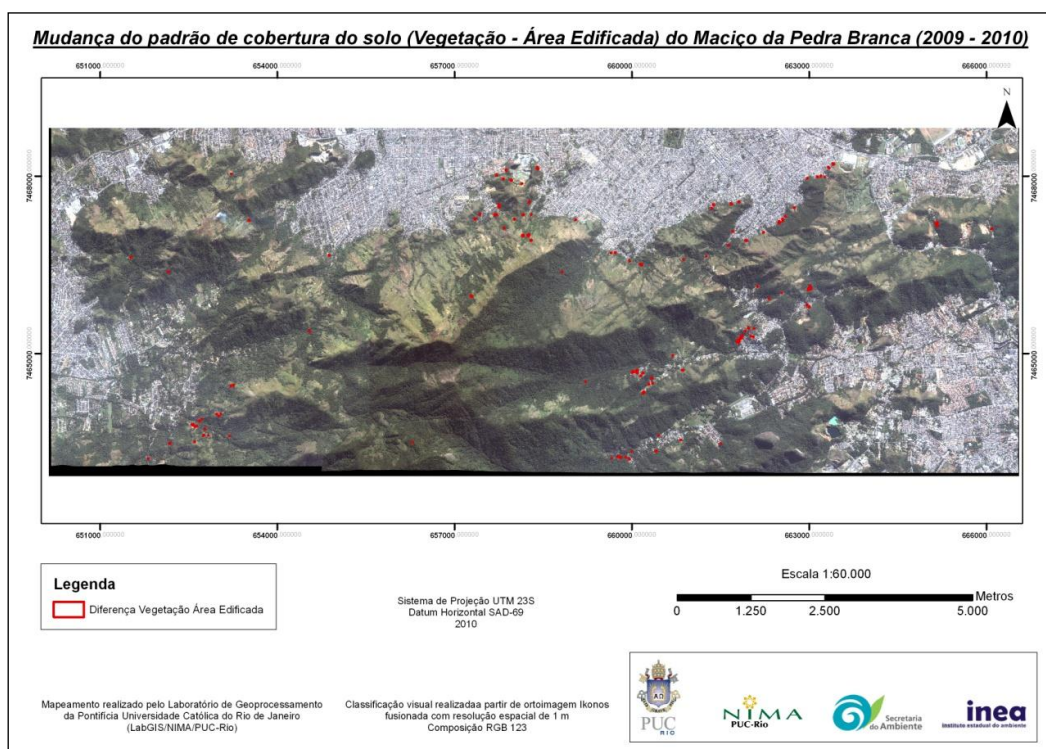


Figura 4: Mapa demonstrando os pontos de mudança de Vegetação para Área edificada.

Classificação de cobertura da porção norte do Parque Estadual da Pedra Branca (2009-2010) através de técnicas automáticas de classificação baseada no ambiente de objetos

Esta parte da pesquisa foi desenvolvida por pesquisadores do Laboratório de Visão Computacional do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-RIO e coordenada pelo professor Raul Feitosa e dedicou-se a elaboração de um modelo de interpretação automática das imagens IKONOS através de técnicas de classificação de imagens por análise orientada a objeto. Os testes

referentes a estas atividades do projeto foram conduzidos no sistema comercial de amplo uso Definiens Developer (DEFINIENS, 2007) e no sistema de livre acesso e código aberto para a interpretação automática de imagens InterIMAGE (LVC/PUC-RIO, 2009).

O objetivo foi que o modelo de interpretação por fim elaborado obtenha resultados com grau de exatidão e precisão temática igualmente para todas as datas de análise do projeto e que possa eventualmente ser aplicado em outras áreas de estudos para monitoramento de supressão de vegetação e expansão urbana utilizando imagens de sensoriamento remoto de alta resolução espacial.

O modelo de interpretação automática formatado para o sistema InterIMAGE (LVC/PUC-Rio, 2009) foi representado pela rede semântica expressa na Figura 5 derivada das informações disponíveis nas chaves de classificação desenvolvidas pelo grupo de classificação visual. Cada nó da rede envolvia procedimentos de segmentação, etapa Top-Down, e de classificação, etapas Top-Down ou Bottom-Up.

O modelo permitiu concluir que, aplicando-se um certo limiar, garantir-se-ia que nenhum segmento classificado de fato como alguma das duas classes de vegetação (Floresta ou Campo) poderia pertencer a outra classe. Porém o contrário poderia ocorrer, ou seja, um segmento que é de Vegetação poderia ter sido classificado como algo diferente. Sendo assim, apenas as áreas não classificadas como vegetação deveriam ser analisadas, e corrigidas se necessário, por um foto-intérprete. Ao gerarmos a classificação pela metodologia proposta passarmos estes resultados para os fotointérpretes, as seguintes observações foram por eles feitas:

- há confusão significativa entre as classes Afloramento Rochoso e Área Urbana;
- polígonos pequenos demais estão sendo classificados como Sombra;
- muitos segmentos isolados de Vegetação não estão sendo classificados como tal quando estes se situam dentro da Área Urbana.

Para contornarmos a primeira observação, decidimos que os polígonos de Afloramentos Rochosos interpretados pelos foto-intérpretes como tal na imagem com melhor condições de iluminação e ângulo de visada em alguma das datas anteriores seria importado como máscara na interpretação

automática dos anos seguintes. Quanto a segunda observação, a solução mais simples e eficaz é definir um limiar de área mínima para que um segmento seja classificado como Sombra. Se um segmento, ou grupos adjacentes de segmentos, atender a condição espectral para ser classificado como Sombra (Brilho baixo), mas não a condição geométrica, então esta área passa a ser classificada como a classe com a qual ela mantém a maior borda relativa. Esta regra pode ser inserida como regra de reclassificação na etapa Bottom-Up do sistema InterIMAGE. Já a terceira observação exigiu uma mudança de paradigma no modelo de interpretação elaborado até então. Ficou evidente que independentemente dos parâmetros de segmentação utilizados, árvores isoladas, ou pequenos grupos de árvores isoladas, no meio de áreas construídas são pequenos demais para serem corretamente delineados pelo segmentador, o que impede a sua correta classificação.

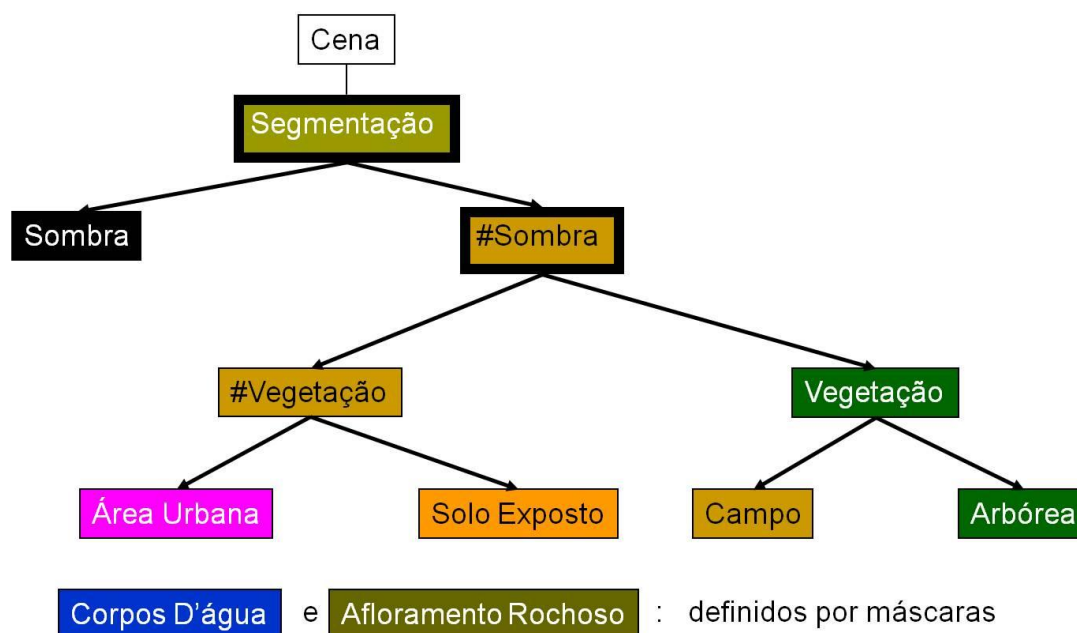


Figura 5: Rede semântica testada anteriormente na elaboração do modelo de interpretação automática.

Decidiu-se então testarmos o segmentador originalmente implementado no sistema SPRING (BINS *et al.*, 1996) e também disponível no sistema InterIMAGE. Este sistema possui uma heurística diferente do segmentador de Baatz e Schäpe (2000) para o crescimento de regiões (formação dos segmentos). O segmentador do SPRING permite a geração de segmentos de diferentes tamanhos já que seus parâmetros são: diferença mínima espectral

entre segmentos e tamanho mínimo dos segmentos formados. A hipótese era de que ao mesmo tempo que aqueles pequenos grupos de árvores poderiam ser corretamente delineados, não seriam gerados um número excessivo de segmentos em outras áreas. A figura 6 mostra o resultado de uma segmentação empreendida com o segmentador do SPRING sobre uma imagem sintética resultante da divisão da banda 4 pela banda 3. Percebe-se pela figura 6 que tal efeito desejado foi atingido. No entanto, observou-se que a eficácia não foi a mesma em toda a área da imagem, pois tal eficácia está ligada aos parâmetros de segmentação utilizados.

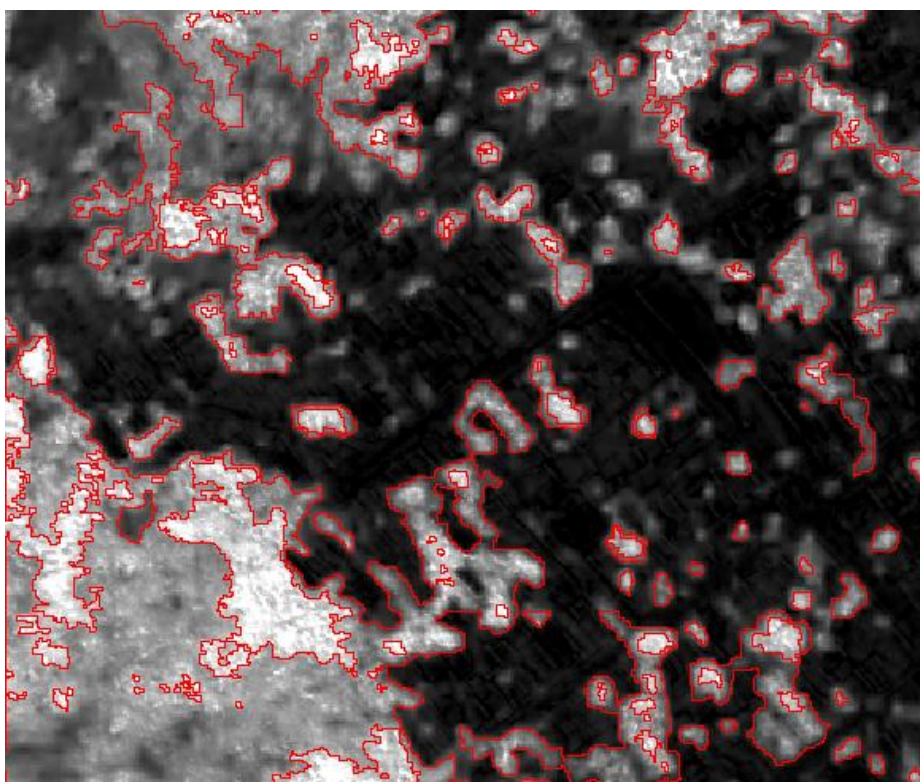


Figura 6. Resultado de uma segmentação empreendida com o segmentador do SPRING sobre imagem sintética resultante da divisão da banda 4 pela banda 3.

Como inúmeros grupos de parâmetros podem ser testados e como cada teste demora um tempo considerável de processamento computacional, decidimos então testar o procedimento de limiarização pixel-a-pixel da imagem sintética resultante da divisão da banda 4 pela banda 3 como forma de extração destes pequenos grupos de árvores. Percebe-se pela figura 7 que de fato todas as áreas de vegetação são bem realçadas na imagem sintética, apresentando valores de pixel bem acima dos outros pixels.

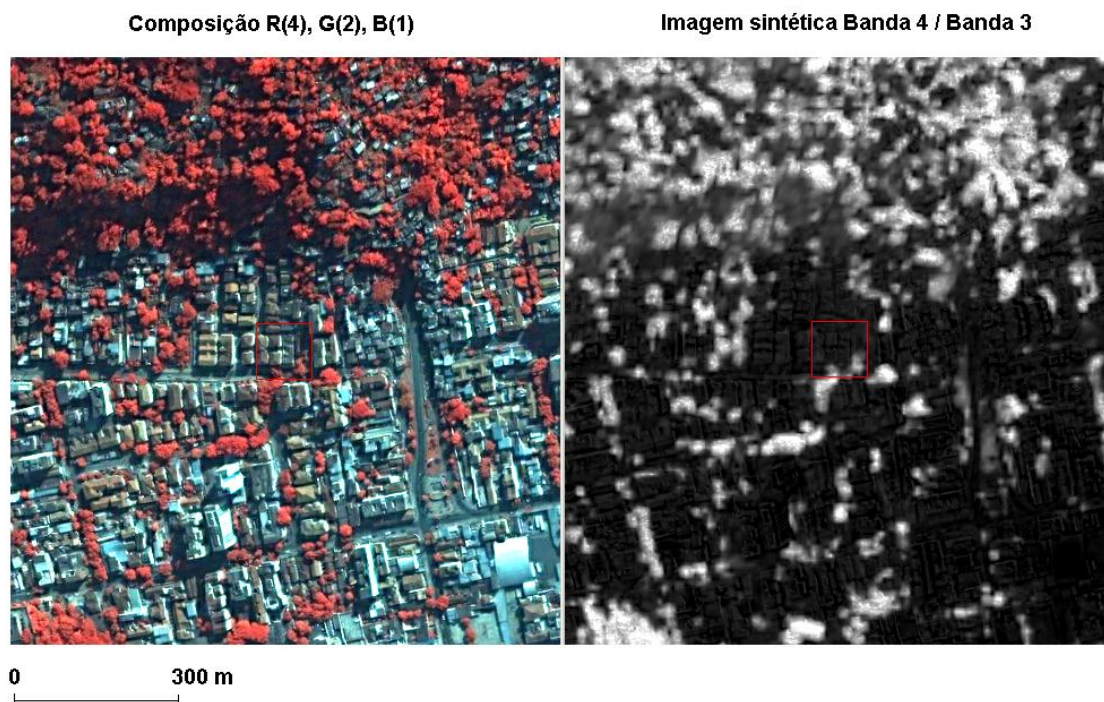


Figura 7: Composição colorida e imagem sintética para o realce de Vegetação.

Esta estratégia mostrou-se tão eficaz quanto de fácil execução. A grande vantagem é que se diminui significativamente o tempo de processamento sem comprometer a qualidade da classificação. Isto nos fez também aplicar o procedimento de limiarização pixel-a-pixel para a separação de Sombra. Para isso, foi usado uma imagem de brilho (soma das quatro bandas dividido por 4). Assim, considerando-se a rede semântica da figura 6 o modelo de interpretação ficou assim reestruturado: no nó Sombra é feita a limiarização de pixels da banda brilho com baixo número digital; o complemento desta seleção é aplicado no nó Não-Sombra utilizando-se a funcionalidade Multi-Class do sistema InterIMAGE; em seguida sobre a área de Não-Sombra é aplicado a limiarização da imagem sintética resultante da divisão da banda 4 pela banda 3 para a extração de Vegetação; o complemento desta seleção é aplicado no nó Não-Vegetação utilizando-se a funcionalidade Multi-Class; em seguida, os nós Campos e Floresta (Arbórea) realizam a segmentação pelo algoritmo de Baatz e Shape (2000) utilizando os mesmo parâmetros. A etapa Bottom-Up se encarrega de fazer a distinção entre Campo e Floresta utilizando também uma limiarização simples do atributo “Divisão da média da banda 4 pela média da banda 3” (só que levando-se em conta o valor dos segmentos) e de fazer as

seguintes duas reclassificações: (1) objetos de Sombra com área menor que certo limiar (adotado em 200 m²) passam a pertence a classe com maior vizinhança e (2) Áreas Urbanas com área menor do que 200 m² e totalmente englobadas por Vegetação passam a pertencer à classe Solo Exposto.

Os resultados gerados pelo método automático foram avaliados pelos foto interpretes que desenvolveram a classificação visual do padrão de cobertura da área teste *passado*, para isso a área de estudo foi dividida em três regiões onde ficavam evidentes os pontos negativos definidos no tópico acima. Esta nova estratégia de extração de grupos pequenos de vegetação por limiarização pixel-a-pixel foi aplicada sobre estas três regiões e os resultados foram novamente avaliados pelos fotointérpretes. Estes atestaram que a classificação gerada atingiu significativa melhora em relação aos métodos anteriores. O principal ponto positivo foi a extração quase que perfeita de todos os pequenos grupos de árvores dentro da área urbana, que exigiam maior trabalho de mapeamento. Nas três subregiões em que o modelo foi aplicado os resultados foram encorajadores. Obviamente, os resultados são intimamente dependentes da escolha correta dos limiares. No entanto, a forma como está o modelo neste momento garante o total controle dos erros de classificação (ou seja, sabe-se que uma vez revisitadas e corrigidas as áreas não classificadas como vegetação, o mapa final terá a mesma acurácia de um mapa elaborado integralmente através de fotointerpretação unicamente). Isto faz com que o trabalho dos fotointérpretes seja significativamente reduzido (estima-se em 70 a 80 %). A título de ilustração apenas, a figura 8 exhibe a classificação final obtida em uma das áreas selecionadas como crítica.

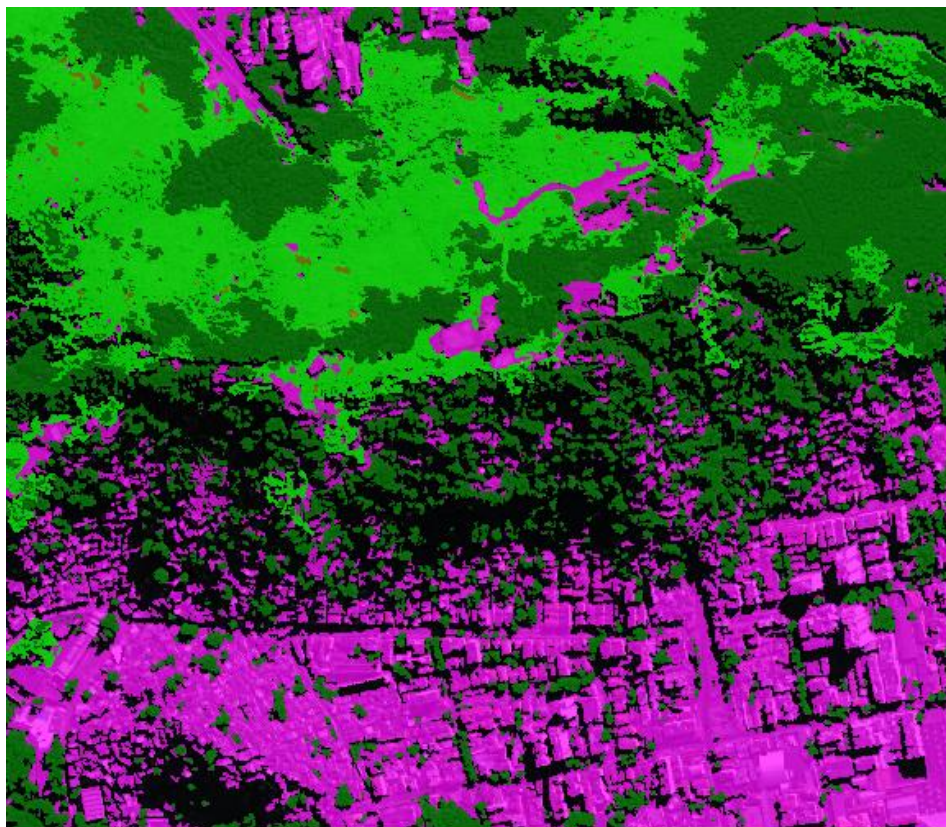


Figura 8: Classificação final obtida em uma das áreas em que os testes foram empreendidos.

Conclusões

O monitoramento sistemático de porções florestadas com remanescentes de Mata Atlântica em áreas adensadas através de imagens de alta resolução IKONOS se mostrou viável e capaz de gerar uma informação objetiva que poderá fundamentar ações de política pública que visem preservar o patrimônio natural da Mata Atlântica Brasileira.

As classificações automáticas ou semiautomáticas se mostraram eficientes permitindo com poucos ajustes se chegar a mesma precisão temática das classificações visuais com menos subjetividade e maior agilidade.

A avaliação final do desenvolvimento do modelo de interpretação automático permitiu concluir que o objetivo de gerar uma metodologia operacional foi alcançado. Estima-se que em torno de 70 a 80% da área analisada esteja corretamente classificada, ocasionando assim uma redução

significativa do trabalho dos fotointérpretes sem prejudicar ou pôr em risco a acurácia e confiabilidade do modelo.

A metodologia com um todo deve ser testada em outras áreas visando se entender de forma mais clara como que a complexidade do espaço geográfico se expressará no momento de aquisição da imagem e em que medida o referido modelo semântico terá que ser calibrado para se manter o mesmo nível de precisão alcançada na área teste.

Novos sensores orbitais devem ser avaliados principalmente os ativos que podem em muito contribuir para a obtenção de dados subarbóreos que certamente favorecerão todo o processo de classificação de cobertura.

Referências

- BAATZ, M.; SCHÄPE, A. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: STROBL, J.; BLASCHKE, T.; GRIESEBNER, G. (Eds.) **Angewandte geographische Informationsverarbeitung XII: Beiträge zum AGITSymposium Salzburg 2000**. Karlsruhe: Herbert Wichmann, 2000. p. 12-23.
- BINS, L. S.; FONSECA, L. M. G.; ERTHAL, G. J.; LI, F. M. Satellite imagery segmentation: a region growing approach. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos: INPE, 1996. Artigos. p. 221-223. Disponível em: <mar.te.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.05.09.30>. Acesso em: 15 jun. 2008.
- DEFINIENS. **Definiens Developer user guide**. Disponível em: <http://www.definiensimaging.com/down/ecognition>. Acesso em: 15 out. 2007.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas da Mata Atlântica**. 2012. Disponível em: <http://www.sosma.org.br/projeto/atlas-da-mata-atlantica/>. Acesso em: 15 ago. 2012.
- LVC/PUC-RIO – Laboratório de Visão Computacional da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. **InterIMAGE: interpreting images freely**. Disponível em: <http://www.lvc.ele.puc-rio.br/projects/interimage>. Acesso em: 15 jul. 2009.
- NIMA/PUC-RIO – Núcleo Interdisciplinar de Meio Ambiente da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. **Projeto PIMAR**. Disponível em: <http://www.nima.puc-rio.br/index.php/pt/projetos-do-nima/pimar>. Acesso em: 15 ago. 2012.
- REGO, LUIZ. **Remote sensing in Rio de Janeiro city**. Saarbrücken: VDM, 2008.

Recebido em julho de 2012; aceito em setembro de 2012.