

Revista Brasileira de Cartografia (2014) N^o 66/6: 1203-1213
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

AVALIAÇÃO DE CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS PARA MAPEAMENTO DIGITAL DO PARQUE NACIONAL DA SERRA DOS ÓRGÃOS (PARNASO)

*Image Classification of Assessment for Digital Mapping to the National Park of
“Serra dos Órgãos” (PARNASO)*

Robson Lopes de Freitas Junior¹ & Gilberto Pessanha Ribeiro²

¹Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ
Pós-Graduação em Engenharia da Computação/Geomática
Rua São Francisco Xavier, 524 - Maracanã - 20550-013 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil
robson_lfjr@yahoo.com.br

²Universidade Federal de São Paulo - UNIFESP
Instituto do Mar/Departamento de Ciência do Mar
Av. Alm. Saldanha da Gama, 89 – Ponta da Praia - 11030-400 – Santos - SP, Brasil
gilberto.pessanha@unifesp.br

Recebido em 20 de Janeiro, 2013/ Aceito em 02 de Novembro, 2013
Received on January 20, 2013/ Accepted on November 02, 2013

RESUMO

O Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO) é o Parque Nacional mais pesquisado no Brasil e configura-se como uma importante Unidade de Conservação inserida no estado do Rio de Janeiro, devido à sua importância ambiental para o estado. Foi constatado que essa área tem passado por alguns problemas, relativamente recentes, de ocupação desordenada devido à expansão urbana em sua vizinhança caracterizada por pressão antrópica. Através do processamento de imagens digitais, mais especificamente as etapas de segmentação e classificação, foi possível ilustrar o processo de ocupação humana por meio de documentos cartográficos. Além de estes processos possibilitarem a geração de mapas de uso da Terra e cobertura vegetal, com o intuito de auxiliar e dar fomento à execução de atividades, o mapeamento digital configura-se numa importante ferramenta para a análise ambiental, contribuindo para o posterior zoneamento da área de estudo. Adotaram-se classes temáticas de uso e ocupação da Terra com o propósito de permitir a classificação das imagens digitais trabalhadas. São elas: afloramento rochoso, área urbana, agricultura e vegetação. Estudos foram feitos no sentido de indicar e explorar as funcionalidades das ferramentas SPRING e DEFINIENS e resultados foram comparados a partir do uso de imagens LANDSAT, CBERS, SPOT e IKONOS. Por fim, sob a ótica do processo de classificação de imagens, a pesquisa constituiu em avaliar este mecanismo por meio do índice Kappa.

Palavras chaves: PARNASO, Classificação, Mapeamento Digital.

ABSTRACT

The National Park of “Serra dos Órgãos” (PARNASO) is the more studied National Park in Brazil and is configured as an important Conservation Unit in Rio de Janeiro’s state, because the environmental importance for the state. This area has passed for some problems, relatively recent, of disordered occupation because the urban expansion in its neighborhood characterized for human pressure. Through the digital image processing, more specifically the stages

of segmentation and classification, were possible to illustrate the occupation process human being by means of cartographic documents. Beyond this process to make possible the generation of use the Land and vegetal covering maps, with the intention for assisting and giving foments to the execution of activities, the digital mapping is configured in an important tool for the environmental analysis, and the posterior zoning to the study area. Thematic classes of Land use and occupation with the intention had been adopted to allow the classification of digital images. They are: rocky outcrop, urban area, agriculture and vegetation. Studies had been made in the direction to indicate and to explore the functionalities of tools SPRING and DEFINIENS and results they had been compared from use of images LANDSAT, CBERS, SPOT and IKONOS. In conclusion, by the processes of images classification, the researches constituted in evaluate this mechanism through the Kappa index.

Keywords: PARNASO, Classification, Digital mapping.

1. INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto é uma ferramenta que tem se tornado, atualmente, muito valorizada para suporte a análise ambiental em Unidades de Conservação. Devido a sua disseminação, muito se tem avançado para as técnicas de processamento digital de imagens com o objetivo de fornecer subsídios e dar sustentação para a gestão de recursos naturais, principalmente no que tange ao processo de tomada de decisões e gestão de Unidades de Conservação (UC).

O presente trabalho faz uso das técnicas de processamento digital com a finalidade de realizar o mapeamento digital do Parque Nacional da Serra dos Órgãos - PARNASO (região serrana do estado do Rio de Janeiro que contém áreas dos municípios de Teresópolis, Petrópolis, Magé e Guapimirim).

A classificação supervisionada de imagens é um processo preponderante para os estudos ambientais, pois é através dela que se diferenciam as classes temáticas de uso da Terra e cobertura vegetal, para a posterior execução do zoneamento ambiental. Assim, buscou-se realizar testes para a classificação de imagens de diferentes sensores remotos tais como LANDSAT, CBERS, SPOT e IKONOS.

Estudos relevantes já foram realizados utilizando-se técnicas de processamento de imagens com o uso do sistema SPRING para a área de estudo. Cruz (2008) buscou comparar os métodos de classificação utilizados pelo Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING) utilizando-se de imagens CBERS. Já Pereira e Ribeiro (2008) realizaram o mapeamento da área urbana de Teresópolis, adjacente ao PARNASO com imagens IKONOS – II e Milhomens et al. (2008) construiu um Sistema de Informação Geográfica

(SIG) para a atividade de ecoturismo, muito utilizada na área de estudo. No entanto, este trabalho se diferencia dos anteriores por buscar novas formas de análise e interpretação de imagens através do potencial de dois sistemas bem diferenciados em seu conjunto estrutural: o DEFINIENS e o SPRING. Por isso, optou-se em investir nessas tecnologias.

Para efeitos de mapeamento, foi definida como área de trabalho o retângulo envolvente delimitado pelas coordenadas de canto superior esquerdo 685.374,919E e 7.523.040,633N e para canto inferior direito 709.508,481E e 7.498.963,196N conforme ilustra a Figura 1. Este retângulo envolvente está contido em áreas dos municípios de Petrópolis, Teresópolis, Magé e Guapimirim, além de conter a unidade de conservação do PARNASO, conforme ilustra a Fig. 1.

2. OBJETIVOS

O presente artigo possui o objetivo geral de avaliar e realizar experimentos nos processos de segmentação e classificação apoiado nas ferramentas SPRING e DEFINIENS explorando as suas funcionalidades através do índice Kappa.

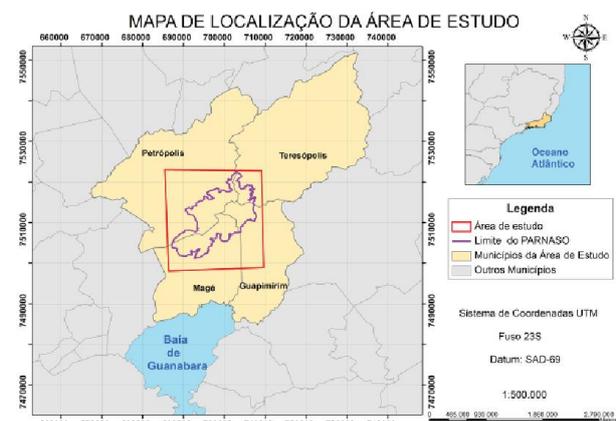


Fig. 1 – Localização da área de estudo.

Já os objetivos específicos são a execução de testes no processo de segmentação e classificação de imagens a fim de verificar o método mais eficaz que se aplique ao tipo de imagem utilizada, estabelecer metodologia para o mapeamento digital de qualquer Unidade de Conservação e por fim, explorar as funcionalidades das ferramentas e seu potencial no processo de segmentação e classificação para extração de objetos geográficos. O Parque Nacional da Serra dos Órgãos está inserido no Maciço da Serra dos Órgãos e faz parte da Serra do Mar na região serrana fluminense. Localizado a cerca de 90 km da cidade do Rio de Janeiro e com aproximadamente 106 km² de área, o Parque contém parte dos municípios de Magé, Guapimirim, Petrópolis e Teresópolis (ICMBIO, 2009).

3. METODOLOGIA

Para fins metodológicos, pode-se afirmar que a metodologia deste estudo buscou considerar alguns aspectos importantes no que se refere ao imageamento terrestre por meio de sensores orbitais ópticos e também a sistemas de informações geográficas (SIG) além de softwares de processamento digital de imagens (PDI).

Assim, os materiais e métodos são listados abaixo com o objetivo de descrever os principais passos a serem discutidos e analisados.

3.1. Materiais

Para elaboração do presente artigo foram utilizados os seguintes materiais:

Processador Core 2 Quad CPU Q 6600 2.40 GHz, 2.00 Gb RAM;

Arquivos no formato shapefile do limite atual e do limite da ampliação do PARNASO integrantes do banco de dados do SIG produzido em 2003 (ArcGIS);

Bases cartográficas vetoriais digitais do IBGE na escala 1:50.000:

- Folha Itaboraí (MI 2746-1)
- Folha Teresópolis (MI 2716-3)
- Folha Petrópolis (MI 2745-2)
- Folha Itaipava (MI 2715-4)
- Folha Miguel Pereira (MI 2715-3)

Imagens de satélite IKONOS II do ano de 2003 disponibilizadas pela empresa Space Imaging do Brasil com resolução espacial de 4m;

Imagens de satélite LANDSAT com as

datas de 01/10/1994, 04/10/2001, 28/08/2005 e 04/06/2009, disponibilizadas gratuitamente no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com resolução espacial de 30m;

Imagens de satélite SPOT-2 do ano de 2006 com resolução espacial de 10m;

Imagens de satélite do sensor CBERS com a data de 07/07/2007 com resolução espacial de 20m disponibilizadas gratuitamente no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE);

Sistema de geoprocessamento e processamento digital de imagens SPRING 5.1.5;

Sistema de processamento digital de imagens DEFINIENS 7.0;

Sistema de Geoprocessamento ArcGIS 9.1.

3.2. Métodos

Utilizou-se no presente trabalho imagens de média e de alta resolução espacial. Neste sentido, buscou-se identificar a pressão urbana na área adjacente ao PARNASO em perspectivas de escalas diferenciadas.

Para a execução da classificação de imagens, foram realizadas etapas de pré-processamento tais como geração de composição colorida, realce e contraste e georreferenciamento. Após o pré-processamento, testes de segmentação foram efetuados nos sistemas SPRING e DEFINIENS para minimização de esforço do intérprete visual e para posterior etapa de classificação supervisionada.

O resultado da segmentação de imagens é um conjunto de regiões/objetos ou um conjunto de contornos extraídos da imagem. Como resultado, cada um dos pixels em uma mesma região é similar com referência a alguma característica ou propriedade computacional, tais como cor, intensidade, textura ou continuidade. Entende-se por região um conjunto de pixels contíguos, que se espalham bidirecionalmente e apresentam uniformidade (CENTENO, 2004).

Existem inúmeros tipos de segmentação tais como por limiar ou threshold, watershed, detecção de bordas, crescimento de regiões, dentre outras. No presente trabalho, será estudado o método por crescimento de regiões dos sistemas SPRING e o proposto por Baatz e Schape do sistema DEFINIENS denominado Segmentador Multiresolução. Dentro da

literatura e do ponto de vista computacional, este tipo de segmentação é o que vem produzindo os melhores resultados quando se tratam de imagens digitais provenientes de sensores remotos quando aplicadas em análises ambientais.

O processo de segmentação prepara as imagens de satélite para uma futura classificação temática, onde os elementos analisados e utilizados na classificação serão as regiões resultantes da aplicação do segmentador, utilizado na definição do espaço de atributos da classificação (VENTURIERI, 1995).

A técnica de segmentação baseada no método de crescimento de regiões é uma das mais utilizadas em aplicações ambientais, pois permite extrair um conjunto mais rico de atributos e de selecionar amostras mais representativas de cada classe (VENTURIERI, 1995).

Nos dois sistemas (SPRING e DEFINIENS) foi utilizada a segmentação por crescimento de regiões. Neste sentido, o sistema SPRING efetua a segmentação a partir de dois parâmetros: similaridade e área. O primeiro consiste no tamanho dos objetos gerados pela segmentação. O segundo relaciona a área de pixels de uma região, por exemplo, 20x20, constituindo, portanto, uma área de 400 pixels. O limiar de similaridade refere-se à diferença entre níveis de cinza abaixo do qual duas regiões são consideradas similares e, então, agrupadas. Corresponde ao valor da distância Euclidiana mínima entre as médias das regiões consideradas. Já o limiar de área é o valor que define o número mínimo de pixels para que uma região seja individualizada.

Como a área de estudo está praticamente coberta por vegetação de mata atlântica, foi utilizada a banda de infravermelho (NIR) com peso maior na segmentação em virtude desta apresentar maior reflectância para estes tipos de alvos naturais.

Com o objetivo de potencializar e diagnosticar o uso do algoritmo de segmentação do SPRING, testes foram executados utilizando parâmetros de similaridade, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 com tamanhos de área iguais a 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 e 500 para todas as imagens do estudo. Percebeu-se ainda que valores de similaridade superiores a 50 e valores de área superiores a 500 pixels não atendem ao objetivo do mapeamento realizado, pois não

conseguem diferenciar os segmentos de forma eficaz.

Sendo assim, os resultados mais significativos de segmentação foram os de parâmetro 10 para similaridade e 400 para área (Fig.2), pois com estes valores o sistema SPRING conseguiu extrair os objetos ao conseguir diferenciar de forma significativa os segmentos para a etapa posterior de classificação.

A segmentação do sistema DEFINIENS consiste em uma técnica onde a imagem é dividida em diferentes níveis de detalhamento, dando origem a diferentes escalas de segmentação. Neste processo, o procedimento de agrupamento dos pixels é similar ao utilizado na técnica de crescimento de regiões, com o diferencial de que a segmentação Multi-Resolução considera não só os parâmetros espectrais, como também a forma dos segmentos no momento do agrupamento (SCHIEWE ET AL., 2001).

Percebeu-se que para as imagens LANDSAT dos anos 1994, 2001, 2005 e 2009, parâmetros de escala menores que 15 e maiores que 40 não atingiram resultados esperados porque o tamanho dos objetos não atendeu ao propósito do estudo enquanto que os valores de 20 e 30 para este parâmetro apresentaram a melhor diferenciação entre os objetos. Também para estas imagens, os fatores de forma e cor que apresentaram maior diferenciação dos objetos foram 0,1 e 0,5 respectivamente,

No entanto, para a imagem CBERS, por exemplo, foi verificado que parâmetros de escala menores que 30 e maiores que 50 não atingiram o grau de diferenciação dos objetos desejado

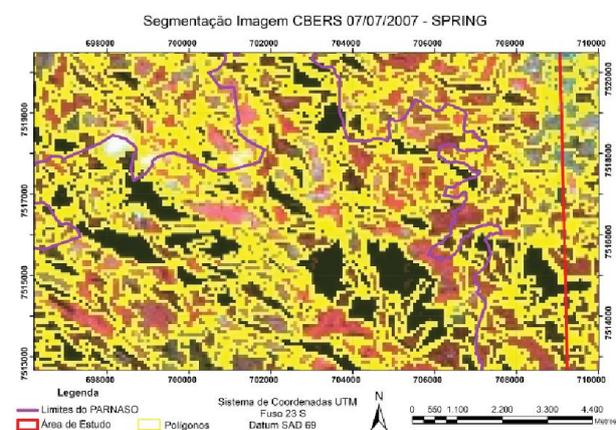


Fig. 2 – Segmentação da imagem CBERS 2007 com parâmetros de Similaridade 10 e Área 400 – SPRING.

para o mapeamento do PARNASO. Portanto, os melhores valores para este parâmetro foram de 40 a 50. Já para os parâmetros de forma e cor, foram utilizados os valores de 0,1 e 0,5 respectivamente, conforme ilustra a Fig. 3.

Na etapa de classificação supervisionada, foi utilizado o algoritmo Bhattacharya no sistema SPRING, com grau de aceitação 99,9%. Este método utiliza amostras coletadas para estimar a função densidade de probabilidade das classes apontadas no treinamento (coleta de amostras para efetuação da classificação). Em seguida, avalia, em cada região, a distância de Bhattacharya entre as classes para se chegar a classificação propriamente dita (MOREIRA, 2005).

Já no sistema Definiens utiliza-se a classificação baseada em objetos que se distingue dos demais tipos de classificação por permitir que outros atributos, que não só a informação espectral sejam levados em consideração durante o processo.

Para se trabalhar com este tipo de classificação, é necessário que, primeiramente, a imagem seja segmentada, onde cada segmento representará um objeto a ser classificado (SCHIEWE ET AL., 2001; BAATZ e SHÄPE, 1999).

No caso da classificação baseada em objeto, a estratégia básica é a de construir uma rede hierárquica de objetos através da segmentação Multi-resolução. Desta forma, é possível representar a informação contida na imagem em diferentes resoluções. Através desta rede hierárquica de objetos se torna viável, então, associar a cada um dos segmentos uma

informação de contexto. Com isso, se torna possível classificar uma região (objeto) de uma determinada imagem não só levando em consideração o seu valor espectral, mas também a relação desta região com sua super-região, sua sub-região e suas regiões vizinhas (BAATZ e SHÄPE, 1999).

Além das informações espectrais e de contexto, é possível considerar durante o processo de classificação outras informações relacionadas ao objeto, tais como: textura, forma, área e densidade, dificultando, assim, que objetos distintos, porém com valores espectrais semelhantes, sejam associados a uma mesma classe (SCHIEWE et al., 2001).

No que se refere ao conhecimento básico para agrupar os objetos, este advém de uma rede hierárquica de classes, cada uma com os seus descritores (parâmetros relacionados às características que serão consideradas para cada classe), os quais são herdados pelas suas subclasses. Desta forma, com a associação dos segmentos (regiões) às classes hierarquizadas, tem-se uma transferência das relações definidas no esquema de classificação para estes segmentos, gerando assim, uma rede de segmentos com atributos e relacionamentos (BAATZ e SHÄPE, 1999).

Portanto, a intenção da classificação orientada a objetos é a de permitir a construção de uma base de conhecimento que acarrete em uma proximidade maior entre o processo automático de classificação e a interpretação humana (ALVES, 2005).

Assim, para fins de classificação no sistema Definiens, foram utilizados os algoritmos assign class e classification. Neste último, regras booleanas e inferências fuzzy foram executadas através de informações espectrais das imagens LANDSAT, CBERS, SPOT e IKONOS, levando em consideração, principalmente, características como brilho e textura dos objetos das imagens.

Para o mapeamento digital da área de estudo, foram adotadas quatro classes temáticas: afloramento rochoso, agricultura, área urbana e vegetação. As Figs. 4 e 5 ilustram classificações para os sistemas SPRING e DEFINIENS, respectivamente.

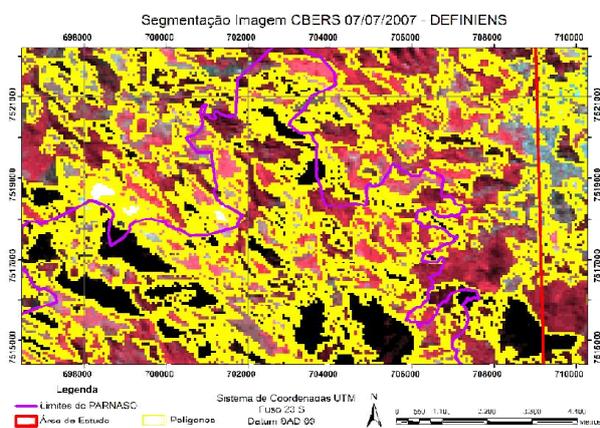


Fig.3 – Segmentação da imagem CBERS 2007 – DEFINIENS.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O satélite CBERS 2 é resultado de

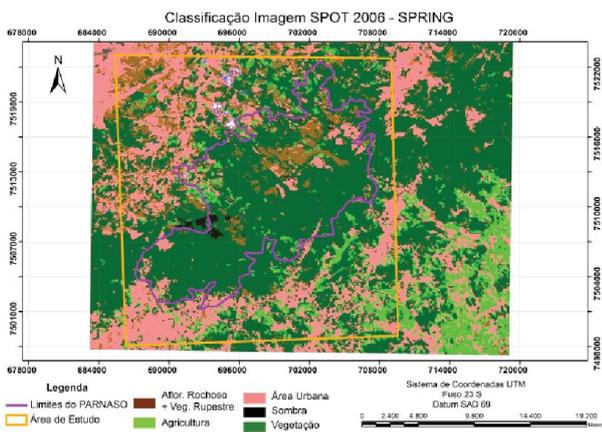


Fig.4 – Classificação da imagem SPOT 2006 – SPRING.

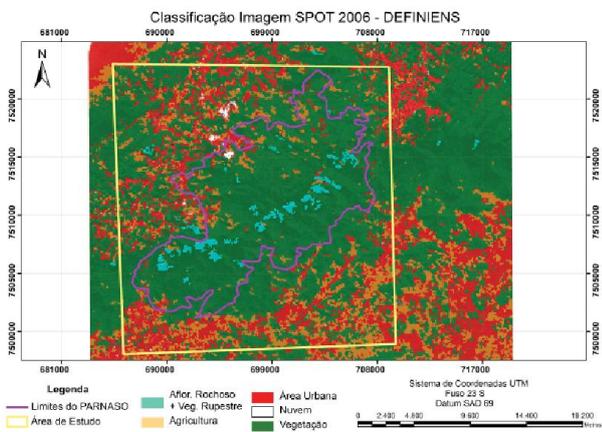


Fig.5 – Classificação da imagem SPOT 2006 – DEFINIENS.

uma parceria entre o Brasil e a China na tentativa de reverter o contexto baseado na dependência de alguns países por imagens fornecidas por equipamentos de outras nações. Dentro desta ótica, os governos da China e do Brasil assinaram em 06 de Julho de 1988 um acordo de parceria envolvendo o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a CAST (Academia Chinesa de Tecnologia Espacial) para o desenvolvimento de dois satélites avançados de sensoriamento remoto, denominado Programa CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) (INPE, 2010; LILLESAND et al.,2004).

Desta forma, o acordo buscava aliar a experiência chinesa na construção de satélites e foguetes lançadores com a familiaridade do Brasil em relação à alta tecnologia de sensoriamento remoto orbital e seu Parque industrial (mais moderno que o existente no parceiro (LILLESAND et al., 2004).

O outro aspecto que incentivou esta união foi o fato dos dois países apresentarem vastas áreas despovoadas e providas de recursos naturais em quantidade significativa em seus territórios, além dos grandes potenciais agrícolas e ambientais destes países. Neste último caso, o Programa CBERS desempenharia uma função importante, na medida em que trazia em seu projeto original, sensores específicos para o desenvolvimento de atividades científicas relacionadas à agricultura e ao monitoramento ambiental (INPE, 2010; LILLESAND et al.,2004).

O primeiro satélite do Programa CBERS, recebeu o nome de CBERS I e foi lançado no ano de 1999, pelo foguete Chinês Longa Marcha a partir do Centro de Lançamento de Taiyuan, na República Popular da China. Três anos mais tarde, em 2003, foi lançado, também a partir do território Chinês, o satélite CBERS 2 (INPE, 2010).

Todas as imagens produzidas pelos satélites CBERS são geradas em 8 bits, o que faz com que estas imagens sejam capazes de representar 256 níveis de cinza. O satélite CBERS 2 possui três sensores distintos: o WFI (Wilde Field Image – Amplo Campo de Visada); Imageador por Varredura de Média Resolução (IRMSS – Infrared Multispectral Scanner) e a Câmera Imageadora de Alta Resolução (CCD – High Resolution CD Camera). A seguir serão descritas as características específicas de cada um destes sensores.

O sensor WFI possui 2 bandas multiespectrais, uma correspondente ao comprimento de onda da faixa do vermelho (0,63 μm a 0,69 μm) e uma correspondente a faixa do infravermelho próximo (0,77 μm a 0,89 μm). Suas imagens são captadas com uma faixa de visada de 860 km de largura e possuem 260 metros de resolução espacial (INPE, 2010).

O sensor IRMSS apresenta 3 bandas multiespectrais, todas elas correspondentes a faixa do infravermelho, sendo 2 delas correspondentes ao infravermelho médio (uma referente ao comprimento de onda entre 1,55 e 1,75 μm ; e outra ao comprimento de onda entre 2,08 e 2,35 μm) e 1 correspondente ao infravermelho termal (10,40 a 12,50 μm) (INPE, 2010). O WFI possui, tal como a Câmera CCD, uma banda pancromática com comprimento de

onda abrangendo as faixas situadas entre o azul e o infravermelho próximo (0,50 a 1,10 μm). Suas imagens possuem resolução espacial de 80 metros (com exceção da banda termal, que apresenta resolução de 160 metros) e 120 km de (INPE, 2010).

Em relação à Câmera CCD, esta possui 4 bandas multiespectrais, 3 delas referentes as faixas do espectro eletromagnético correspondente à luz visível (azul – 0,45 a 0,62 μm ; verde-0,52 a 0,59 μm ; e vermelho – 0,63 a 0,69 μm) e 1 referente ao comprimento de onda da faixa do infravermelho próximo (0,77 a 0,89 μm). Além destas, o sensor CCD possui também uma banda pancromática, a qual abarca os comprimentos de onda do espectro eletromagnético que vão da faixa do azul até a faixa do infravermelho próximo (0,51 a 0,73 μm). As cenas produzidas pela câmera CCD possuem 113 km de largura e apresentam resolução espacial de 20 metros (INPE, 2010).

O satélite SPOT-2 é oriundo de um programa francês bem semelhante ao programa LANDSAT, concebido pelo Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) com dois sensores de alta resolução (HRV - HAUT Resolution Visible) a bordo. Estes sensores foram concebidos para operarem no modo multiespectral (aquisição de dados em três faixas do espectro eletromagnético com uma resolução espacial de 20 metros) e no modo pancromático com uma banda de resolução espacial de 10 metros (CENTENO, 2004).

Uma das características marcantes dos instrumentos a bordo do SPOT-2 é a possibilidade de observação "off-nadir" (apontamento direcional). O sensor poderá ser direcionado de modo a observar cenas laterais à órbita em que se encontra inserido o satélite em dado momento. Esta possibilidade de observação "off-nadir" aumenta os meios de obter-se um aumento no recobrimento repetitivo de determinadas áreas. Outra vantagem da visada "off-nadir" é a possibilidade de serem obtidos pares estereoscópicos de determinadas áreas (CENTENO, 2004).

Buscando-se avaliar a classificação supervisionada das imagens nos sistemas SPRING e DEFINIENS, foram sorteadas amostras aleatórias através da criação de pontos aleatórios (ferramenta create random points do sistema ArcGIS).

De posse dos pontos criados aleatoriamente, foram configuradas matrizes de erros com o objetivo de identificar possíveis erros de inclusão e de exclusão nos resultados de classificação.

No primeiro caso, o erro ocorre quando há uma inclusão de uma amostra dentro de uma categoria que ela não faz parte. Já o erro de exclusão é o oposto, ou seja, ele ocorre quando há uma exclusão de uma amostra de uma área da qual ela realmente faz parte (CONGALTON e GREEN, 1999).

Desta forma, os valores da matriz de erros indicam a quantidade de amostras para a classe determinada que estejam classificadas corretamente e incorretamente.

Uma matriz de erros é um arranjo quadrático de números dispostos em linhas e colunas que expressam o número de amostras associadas a uma determinada classe em relação ao número de amostras associadas a uma classe em um documento de referência (Congalton e Green, 1999).

Geralmente, as colunas de uma matriz de erros representam o dado de referência, enquanto que as linhas indicam a classificação gerada a partir de dados de sensoriamento remoto. Este instrumento possui a finalidade de identificar o erro global da classificação para cada categoria, mostrando também como se deram as confusões entre as categorias (Brites, 1996). As tabelas 1 e 2 ilustram exemplos de matrizes de erros utilizadas no presente artigo.

Com base na tabela 1, pode-se perceber que as classes temáticas que mais apresentaram concordância com o documento de referência foram as classes temáticas área urbana, sombra e vegetação. Já as classes temáticas afloramento rochoso e agricultura apresentaram maiores índices de confusão.

Já a tabela 2 indica maior concordância nas classes temáticas agricultura, área urbana, sombra e vegetação. No entanto, a classificação para afloramento rochoso apresentou significativos erros de discordância com a referência.

Por último, com o objetivo de validar a classificação gerada, foi utilizado o índice Kappa. Este índice considera que tanto o produto gerado, como o documento de referência, possuem o mesmo grau de verdade (BRITES, 1996). Esta técnica de análise é utilizada pela

Tabela 1: Matriz de erros da classificação do SPRING – Imagem IKONOS 2003

Referên- cia/ Classifi- cação	Aflor. Ro- choso	Agri-cultu- ra	Área Urba-na	Som- bra	Vege- tação	Total
Aflor. Rochoso	10	0	5	0	5	20
Agricultu-ra	4	13	8	0	8	33
Área Urbana	0	5	30	0	2	37
Sombra	0	0	0	15	10	25
Vegetação	6	4	6	3	55	74
Total	20	22	49	18	80	189

Tabela 2: Matriz de erros da classificação do DEFINIENS – Imagem IKONOS 2003

Referên- cia/ Classifi- cação	Aflor. Ro- choso	Agri-cultu- ra	Área Urba-na	Som- bra	Vege- tação	Total
Aflor. Rochoso	15	5	3	0	8	31
Agricultu-ra	0	13	2	0	5	20
Área Urbana	0	0	18	0	0	18
Sombra	0	0	0	16	4	20
Vegetação	5	6	5	4	50	70
Total	20	24	28	20	67	159

sociologia e psicologia há vários anos. Em sensoriamento remoto, a primeira publicação descrevendo a utilização do método foi realizada por Congalton e Green, em 1983. Desde então, vários artigos recomendando o uso desta técnica têm sido publicados.

COLGALTON e GREEN (1999) relatam que o uso do coeficiente Kappa (K) é eficiente na avaliação da condição de uma classificação temática, pelo fato de levar em consideração toda a matriz de erros no seu cálculo, inclusive os elementos de fora da diagonal principal, os quais representam as discordâncias na classificação, diferentemente da exatidão/acurácia global, por exemplo, que utiliza somente os elementos diagonais (concordância real).

Abaixo, demonstra-se a equação 1 que expressa como o índice Kappa é calculado:

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}} \quad (1)$$

Onde,

k = número de linhas da matriz de erros;
n = número total de observações (amostras);
n_{ii} = número de observações na linha i e coluna i;
n_{i+} = total da linha i;
n_{+i} = total da coluna i.

Aplicando-se a equação 1 nas tabelas 1 e 2, respectivamente, temos as equações 2 e 3 que descrevem os índices Kappa para as imagens utilizadas como exemplo.

$$n \sum_{i=1}^k n_{ii} = 10 + 13 + 30 + 15 + 55 = 123$$

$$\sum_{i=1}^k n_i n_{+i} = (20 \times 20) + (33 \times 22) + (37 \times 49) + (25 \times 18) + (74 \times 80) = 9.309$$

$$K = \frac{(189 \times 123) - 9.309}{1892 - 9.309} = \frac{13.938}{26.412} = 0,53. \tag{2}$$

$$n \sum_{i=1}^k n_i = 15 + 13 + 18 + 16 + 50 = 112$$

$$\sum_{i=1}^k n_i n_{+i} = (31 \times 20) + (20 \times 24) + (18 \times 28) + (20 \times 20) + (70 \times 67) = 6.694$$

$$K = \frac{(159 \times 112) - 6.694}{1692 - 6.694} = \frac{11.114}{18.587} = 0,60. \tag{3}$$

Deste modo, pode-se inferir que a equação 2 mostra o valor de índice Kappa 0,53 para o sistema SPRING e a equação 3 o valor de 0,60 para o sistema Definiens.

A tabela 3 demonstra os valores de índice Kappa para todas as imagens utilizadas no estudo.

Para definir o quanto a classificação está correta, Landis e Koch (1977) Apud Congalton

Tabela 3: Valores de Kappa para todas as imagens do estudo

Imagem	SPRING	DEFINIENS
LANDSAT 1994	0.66	0.62
LANDSAT 2001	0.64	0.64
LANDSAT 2005	0.64	0.52
LANDSAT 2009	0.67	0.61
CBERS 2007	0.65	0.50
SPOT 2006	0.62	0.62
IKONOS 2003	0.53	0.60

e Green (1999) caracterizaram os níveis de qualidade da classificação em seis grupos de acordo com o índice Kappa:

- CONCORDÂNCIA MUITO FORTE = $K > 0,80$
- CONCORDÂNCIA SUBSTANCIAL = $0,60 < K < 0,79$
- CONCORDÂNCIA MODERADA = $0,40 < K < 0,59$
- CONCORDÂNCIA LEVE = $0,20 < K < 0,39$
- CONCORDÂNCIA POBRE = $0,00 < K < 0,19$
- SEM CONCORDÂNCIA = $K < 0,00$

Desta forma, de acordo com a classificação de Landis e Koch (1977), pode-se afirmar que para a classificação realizada pelo sistema SPRING, todas as imagens apresentaram concordância substancial ($0,60 < K < 0,79$) com a base de dados, com exceção da imagem IKONOS do ano de 2003 que apresentou concordância moderada ($K = 0,53$).

Já para a classificação realizada pelo sistema DEFINIENS pode-se inferir que as imagens LANDSAT 2005 e CBERS 2007 apresentaram concordância moderada com a base de dados ($K = 0,52$ e $0,50$, respectivamente). Para as demais imagens utilizadas no estudo, a concordância com a base de dados foi a substancial ($0,60 < K < 0,79$).

Sendo assim, pode-se concluir que os resultados gerados pelas classificações de imagens efetuadas pelos sistemas SPRING e DEFINIENS apresentaram valores concordantes com o que a literatura recomenda para aplicações de sensoriamento remoto em estudos ambientais.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Com base nas etapas anteriores do estudo, percebeu-se que o processo de segmentação deve ser valorizado devido a esta etapa do processamento digital de imagens ter se mostrado como estratégia eficaz no mapeamento digital, uma vez que podem ser exploradas alternativas automatizadas para a definição da geometria dos objetos geográficos a serem extraídos e que irão se transformar em classes temáticas na etapa posterior de classificação.

Vale salientar ainda que do ponto de vista do trabalho computacional, as segmentações realizadas pelo sistema DEFINIENS além de apresentarem melhores resultados do ponto

de vista computacional (mais agilidade e rapidez) também ilustraram melhores resultados qualitativos no que se refere a tamanho e diferenciação dos objetos.

No que tange a classificação digital de imagens, o estudo comparativo entre os dois sistemas, SPRING e DEFINIENS, quando se referem a recursos e funcionalidades apontou resultados semelhantes, sendo que se observaram tendências de melhores resultados de índice Kappa no sistema SPRING para imagens de média resolução (LANDSAT e CBERS) e nas imagens de alta resolução (SPOT e IKONOS) no sistema DEFINIENS. Contudo, cabe mencionar que o sistema DEFINIENS possui uma grande diversidade de funcionalidades que não foram totalmente exploradas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, C. D.; PEREIRA, M. N.; FLORENZANO, T. G.; SOUZA, I. M. Análise Orientada a Objeto no Mapeamento de Áreas Urbanas com Imagens LANDSAT. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba v. 15, no 1 (2005), p.120-141.

AMBINAKUDIGE, S.; CHOI, J.; KHANAL, S. A comparative analysis of CBERS-2 CCD and LANDSAT-TM satellite images in vegetation mapping. **Revista Brasileira de Cartografia**. Nº 63/01 (2010). 115-122 pp. ISSN: 0560-4613.

BAATZ, M.; SCHAPE, A. Objected oriented and multiscale image analysis in semantic network. *In: 2nd International Symposium on Operational Remote Sensing (ITC)*. Netherlands, 1999. Anais. 1999. 12-23 pp.

BRITES, R. S. **Verificação de exatidão em classificação de imagens digitais orbitais: efeito de diferentes estratégias de amostragem e avaliação de índices de exatidão**. 1996. 101 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**. Curitiba: Ed. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, 2004.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. 1999. **Assessing the Accuracy of Remote Sensed Data: Principle and Practices**. Lewis Publishers.

New York, 123p.

CRUZ, Z. Q. **Mapeamento Digital Regional do Uso e Cobertura da Terra em Unidades de Conservação a partir de Imagens CBERS para apoio à Gestão Ambiental**. Monografia de Graduação. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Engenharia. Departamento de Engenharia Cartográfica: Rio de Janeiro, 2008. 118p.

INPE - **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Disponível: <http://www.inpe.br>. Acesso: 16 de junho de 2010.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. New York. John Wiley & Sons, 763 p. 2004.

MILHOMENS, A.; REDIVO, A. L.; NASCIMENTO, D. S.; MARTINS, E. S.; GARCIA, F. G.; CARVALHO JÚNIOR O. A.; SANTANA, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RIBEIRO, R. S.; OLIVEIRA, S. N. Sistema de Informações Geográficas de Ecoturismo (SIGECOTUR) do Parque Nacional da Serra dos Órgãos. **Espaço e Geografia**. Vol.11, Nº 1 (2008). 147-190 pp. ISSN:1516-9375.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. INPE, São José dos Campos: 2001. 250 p.

PEREIRA, M. F. M.; RIBEIRO, G. P. Mapeamento Digital de Zona Urbana em Teresópolis (RJ), Adjacente ao Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO), a partir de imagens IKONOS II. *In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*. Recife, 2008. 8p.

PRADO, R. B.; NOVO, E. M. L. M.; PEREIRA, M. N. Avaliação da dinâmica do uso e cobertura da Terra na bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita – SP. **Revista Brasileira de Cartografia**. Nº 59/02 (2007). 127-135 pp. ISSN: 1808-0936.

PRADO, F. A.; GALO, M. L. B. T. Classificação de imagens multiespectrais baseadas em abordagem fuzzy. **Revista Brasileira de Cartografia**. Nº 61/03 (2009). 233-244 pp.

ISSN: 0560-4613.

SANTOS, J. R.; MALDONADO, F. D.; GRAÇA, P. M. L. A. Integração de imagens LANDSAT/ETM+ e CBERS-2/CCD para detecção de mudanças em área da Amazônia sob domínio da floresta de transição. **Revista Brasileira de Cartografia**. Nº 57/01 (2005). 15-21 pp. ISSN: 1808-0936.

SCHIEWE, J; TUFTE, L.; EHLERS, M. Potential and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing. **Geoinformation** 6: 34 – 39, 2001.

SOUZA, S. B.; FERREIRA, L. G. Mapeamento

da cobertura e uso da Terra: uma abordagem utilizando dados de sensoriamento remoto óptico multitemporais e provenientes de múltiplas plataformas. **Revista Brasileira de Cartografia**. Nº 66/02 (2014). 321-336 pp. ISSN: 1808-0936.

VENTURIERI, A. **Utilização da segmentação de imagens e lógica nebulosa para treinamento de uma rede neural artificial na caracterização de classes de uso da terra na região de Tucuruí - PA**. 1995. 108f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. 1995.