

Método alternativo de classificação de imagens orbitais para o mapeamento do uso/cobertura da terra nas bacias dos rios Pardo e Salinas - MG

Ronaldo Medeiros dos Santos ¹
Isaac Alves Oliveira ²
Vinícius Orlandi Barbosa Lima ¹
Marcelo Rossi Vicente ¹
Antonio Henrique Cordeiro Ramalho ²
Tarley Aparecido dos Santos ²

¹ Instituto Federal do Norte de Minas Gerais – IFNMG, Campus Salinas
Faz. Varginha, Km 02, rodovia MG 404. CEP. 39560-000 - Salinas - MG, Brasil
ronaldo.medeiros@ifnmg.edu.br, vinicius.orlandi@ifnmg.edu.br,
marcelo.vicente@ifnmg.edu.br

² Graduando em Engenharia Florestal do IFNMG, Campus Salinas
Faz. Varginha, Km 02, rodovia MG 404. CEP. 39560-000 - Salinas - MG, Brasil
isaac_floresteiro@outlook.com, henriquecr2012@hotmail.com,
tarleyengflorestal@gmail.com

Abstract. Land use / land cover mapping is a basic prerequisite for the development of a wide variety of studies and environmental actions planning, such as territorial management, rational exploitation of natural resources, environmental conservation and urban and agricultural planning. However, obtaining accurate results is still a challenge, because both the characteristics of the sensors, that generate the orbital images, and the different formulations of the classifiers may not be adequate to the natural complexity of the studied area, such as the northern region of Minas Gerais, characterized by strong fragmentation of the landscape. Therefore, the objective of the present work was to propose and evaluate an alternative classification method, based on decision tree algorithm, for the land use/cover mapping in the Pardo and Salinas rivers basins, in the northern region of Minas Gerais State. The methodology comprised the development of an alternative automatic decision tree classifier, considering spectral and non-spectral information, and the evaluation of its performance; individually and compared to the result obtained through classic automatic classifiers. 12 land use/cover classes were identified and the alternative method proposed was presented satisfactory and superior performance to that obtained by the application of the classical "Battacharya" (region) and maximum likelihood (pixel-a-pixel) classifiers.

Palavras-chave: remote sensing, automatic classification, decision tree, algorithm, sensoriamento remoto, classificação automática, árvore de decisão.

1. Introdução

A relação entre o tipo de material e a radiação eletromagnética se dá por reflexão, por absorção ou por emissão. Um corpo, alvo ou objeto pode, ao mesmo tempo, refletir, absorver ou emitir radiação em determinados comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Nos três casos, essa interação é exclusiva, fazendo com que cada tipo de material tenha um padrão único de comportamento espectral. Baseando-se nesse princípio, é possível, por meio de imagens obtidas via sensores remotos, tanto distinguir alvos de características físico-químicas diferentes, quanto caracterizá-los no que diz respeito a eventuais variações temporais de estado. Uma das principais aplicações práticas dessa capacidade do sensoriamento remoto é o mapeamento do uso ou cobertura da terra (Moreira, 2001; Meneses, 2012).

Segundo Santos et al. (2011), identificar e mapear a distribuição espacial dos diferentes usos ou coberturas da terra é pré-requisito básico, de fundamental importância, para o desenvolvimento de uma grande variedade de estudos e/ou planejamento de ações, como, por exemplo, gestão territorial do espaço geográfico, exploração racional de recursos naturais, conservação ambiental e planejamento urbano e agrícola, dentre outros.

Os mapas de uso/cobertura da terra podem ser confeccionados manualmente, via interpretação visual de padrões, ou automaticamente, em ambiente digital, por meio de algoritmos denominados classificadores automáticos. Independente da metodologia adotada, a precisão desse mapeamento é determinante para a sua utilização segura nas destinações previstas, como as citadas anteriormente. No entanto, em boa parte dos casos, tal aspecto sequer é avaliado. Para Ferreira et al. (2010), equívocos na identificação das classes resultam em erros que podem comprometer ou invalidar completamente os mapas, diagnósticos ou resultados gerados a partir da informação espacial em questão.

Embora o mapeamento do uso/cobertura da terra a partir de imagens de sensoriamento remoto seja, há décadas, um procedimento estabelecido e largamente utilizado, a obtenção de resultados precisos ainda é um desafio, uma vez que tanto as características dos sensores, responsáveis pela captura das imagens, quanto as diferentes formulações dos classificadores, por vezes, não se adequam à complexidade natural da paisagem imageada. Mistura entre diferentes materiais e alta fragmentação espacial das classes estão entre as causas frequentes da baixa qualidade dos mapas gerados (Linn, 2008; Boavida, 2010). Dificuldades semelhantes foram encontrados em estudos realizados nas bacias dos rios Salinas e Pardo, na região norte do Estado de Minas Gerais.

Oliveira et al. (2014), estudando o processo de perda de solo por erosão na bacia de contribuição da represa do Rio Salinas, não obtiveram resultados conclusivos, devido às inconsistências nos mapas de uso/cobertura da terra utilizados, gerados por classificação automática. A confusão entre as classes “Pastagem” e “Solo Exposto” e entre as classes “Cerrado” e “Floresta Estacional Decidual” estão entre os principais problemas relatados.

Oliveira et al. (2014b), por sua vez, tentou mapear, em alto nível de detalhamento, o uso/cobertura da terra na porção mineira da bacia do rio Pardo. Os resultados, embora considerados razoavelmente satisfatórios, também apresentaram problemas de confusão entre classes, principalmente entre “Floresta Estacional” e “Silvicultura”, “Cerrado” e “Silvicultura”, “Agricultura Irrigada” e “Silvicultura” e entre tipos diferentes de formações campestres (pastagens e campos naturais). Salis et al. (2014), observou os mesmos problemas, aos gerar mapas de uso/cobertura para o estudo de conflitos entre usos antrópicos da terra e áreas de preservação permanente, em uma sub-bacia do rio Pardo.

Apesar de ser notória a carência de informações referentes ao padrão e dinâmica do uso/cobertura da terra nas regiões drenadas pelos rios Salinas e Pardo, ainda não há um mapeamento preciso e/ou detalhado neste sentido, uma vez que os métodos tradicionais já aplicados não foram capazes de gerar resultados satisfatórios ou definitivos. Trata-se de um obstáculo à execução de uma série de estudos de busca por respostas a questões ambientais e de desenvolvimento econômico e social para as referidas regiões, como o mapeamento de áreas degradadas, o mapeamento/monitoramento espacial da atividade silvicultural e o mapeamento/monitoramento das fitofisionomias Cerrado e Floresta Estacional Semidecidual (“Mata Seca”), dentre outras. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi propor e testar um método alternativo de classificação, baseado em árvore de decisão, para o mapeamento preciso do uso/cobertura da terra nas bacias do Rio Pardo e da represa do rio Salinas, na região norte de Minas Gerais.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo abrangeu a bacia de contribuição da represa do Rio Salinas e a porção mineira da bacia do Rio Pardo, localizadas na região norte do Estado de Minas Gerais (Figura 1). Juntas, as bacias abrangem uma superfície de aproximadamente 13.900 km², situada entre os paralelos 15° e 16° de latitude sul e entre os meridianos 41° e 43° a oeste de Greenwich.

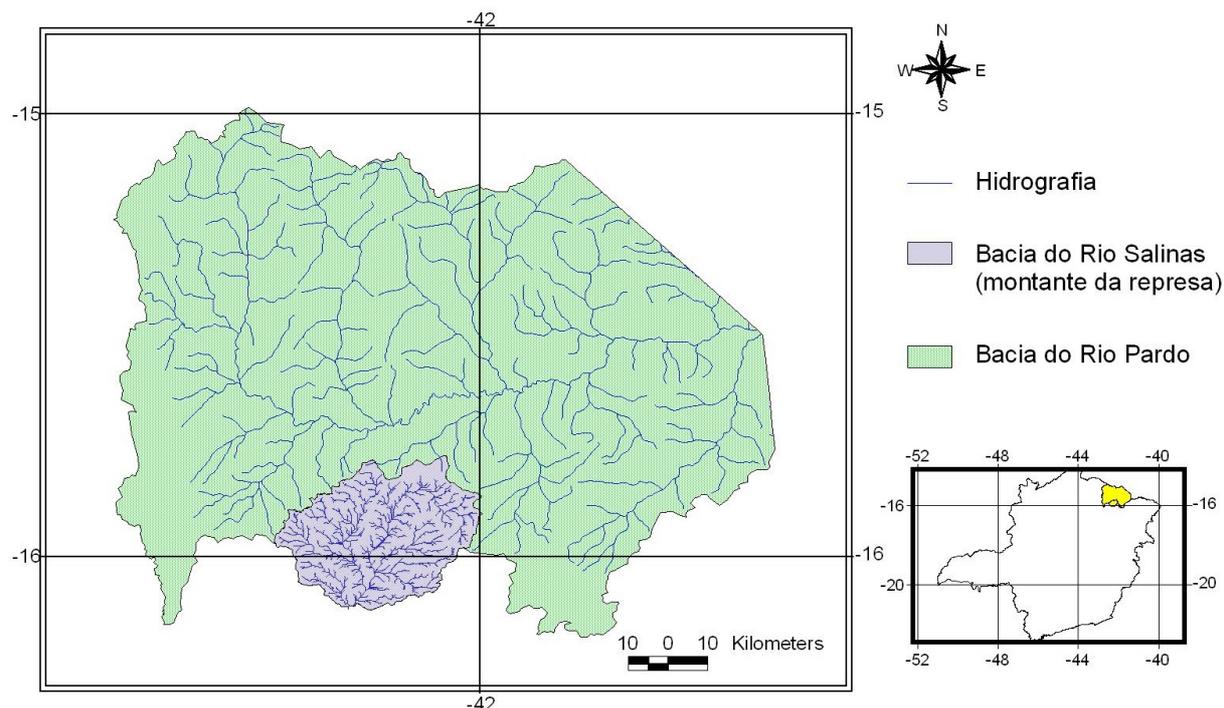


Figura 1 – Localização da área de estudos.

O clima na região é de transição entre Cerrado e Caatinga, variando de sub-úmido a semi-árido, classificado majoritariamente, segundo Köppen, como sendo Aw, de inverno seco e verão chuvoso. A cobertura vegetal natural é típica de cerrado, com ocorrência de fitofisionomias de transição caatinga/cerrado, florestas subcaducifólias e caducifólias e formações rupestres (Toledo et al., 2009). Com relação aos solos, a classe predominante é a dos latossolos vermelho-amarelos, com pequenas ocorrências de cambissolos, podzólicos vermelho-amarelos, solos aluviais e solos litólicos (Amaral et al., 2004).

O material utilizado consistiu em uma cena multiespectral do satélite LANDSAT-8, com resolução espacial de 30 metros, e em planos temáticos de informações geográficas em formato digital (relevo, solo e rede hidrográfica). Para o processamento dos dados, foram utilizados os *softwares* IDRISI, versão Andes (licença gratuita), e Spring, versão 5.2.2. A metodologia compreendeu o desenvolvimento de um classificador automático alternativo baseado em árvore de decisão, considerando-se informações espectrais e não espectrais, e a avaliação de desempenho do mesmo; individualmente e comparado ao resultado obtido via classificadores automáticos clássicos. Nos itens que se seguem, encontram-se detalhados os referidos passos metodológicos.

2.1. Classificador automático alternativo baseado em árvore de Decisão

Preliminarmente aos processos de construção da árvore de decisão e processamento dos dados espaciais, foram efetuadas incursões a campo, com o objetivo de se identificar as classes mais significativas de usos/coberturas da terra na área de estudo. As coordenadas dos pontos visitados foram rastreadas com o auxílio de um receptor GNSS. Em escritório, de posse dessas coordenadas, foi criado um arquivo de pontos. Esse arquivo foi sobreposto à cena multiespectral e a outros planos temáticos de informações geográficas; por meio do que se buscou identificar relações espaciais e numéricas entre as classes pré-identificadas, a sua resposta espectral na imagem e as características físicas (informações não espectrais) presentes nos seus locais de ocorrência.

A partir das relações estabelecidas, foram propostos intervalos delimitadores para cada classe. Tais intervalos foram utilizados na construção de uma árvore de decisão para

classificação automática, implementada utilizando-se o módulo “*Macro Modeler*” do Idrisi. Nesse método, as classes são separadas gradual e sucessivamente, a partir de expressões lógicas construídas a partir das relações espaciais entre os tipos de uso/cobertura da terra, resposta espectral e informações temáticas não-espectrais (Envi User’s Guide, 2004), conforme ilustrado na Figura 2. Todo o processamento foi feito para um recorte da cena LANDSAT-8 utilizada, selecionado cuidadosamente para representar as classes temáticas e o grande nível de fragmentação espacial da paisagem na área de estudos.

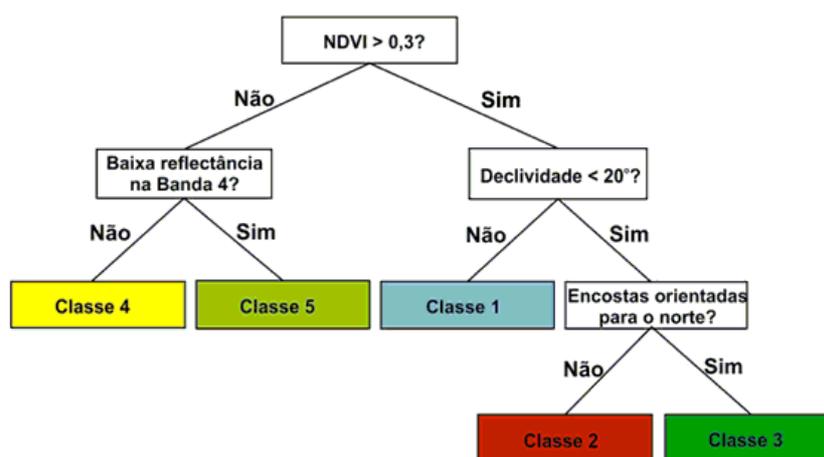


Figura 2 – Exemplo de árvore de decisão baseada em informação espectral e de relevo (Fonte: adaptado de Envi User’s Guide, 2004).

2.2. Avaliação de desempenho

O desempenho do método alternativo proposto foi avaliado por meio de análise visual e efetuando-se a confrontação da imagem classificada com um arquivo de validação, por meio do que foram gerados um índice global de acurácia (índice *Kappa*) e uma matriz de erro, com o desempenho avaliado por classes mapeadas. O resultado do método proposto também foi confrontado aos obtidos via aplicação de classificadores espectrais tradicionais.

3. Resultados e Discussão

3.1. Reconhecimento de Campo

Como resultado dos trabalhos de campo, foram identificadas fitofisionomias com formações florestais (mata ciliar e “mata seca”), savânicas (cerrado sentido restrito), campestres (campo sujo e campo limpo), corpos d’água, solos expostos, silvicultura, pastagens e agricultura irrigada, além de formações típicas de transição entre Cerrado e Mata Seca. A partir das coberturas identificadas foram estabelecidas 12 classes de uso/cobertura da terra: (a) corpos d’água; (b) solo exposto; (c) pastagem 1 (com pouca cobertura vegetal); (d) pastagem 2 (com muita cobertura vegetal); (e) campo cerrado (abrange campo sujo e cerrado em estágio inicial de regeneração); (f) campo limpo; (g) cerrado vigoroso (abrange cerrado sentido restrito e cerrado em estágio final de regeneração); (h) mata seca; (i) silvicultura (plantações de eucalipto com dossel formado); (j) plantios recentes (rebrotas e plantios de eucaliptos recentes, com dossel em formação); (k) mata ciliar e (l) classe mista “pi-ai-as” (pastagem irrigada, agricultura irrigada e/ou de subsistência).

3.2. Construção da Árvore de Decisão

A busca por relações entre os tipos de uso/cobertura da terra pré-identificados e as informações espectrais e não-espectrais disponíveis teve como primeiro resultado os fatores e dados significativamente decisivos à distinção das classes na área de estudos. Neste caso, foram considerados determinantes, e inseridos na árvore de decisão, os seguintes fatores:

nível de cinza na região do verde (Banda 2); nível de cinza na região do vermelho (Banda 3); nível de cinza na região do infravermelho próximo (Banda 4); Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI); altitude; e distância em relação à rede de drenagem. A interseção espacial dessas informações com um arquivo de “verdades terrestres”, elaborado a partir de fotointerpretação e das classes pré-estabelecidas, levou ao estabelecimento de limiares para os referidos dados em função do uso/cobertura da terra. Esses limiares foram então utilizados na construção progressiva da árvore de decisão, apresentada no fluxograma da Figura 3.

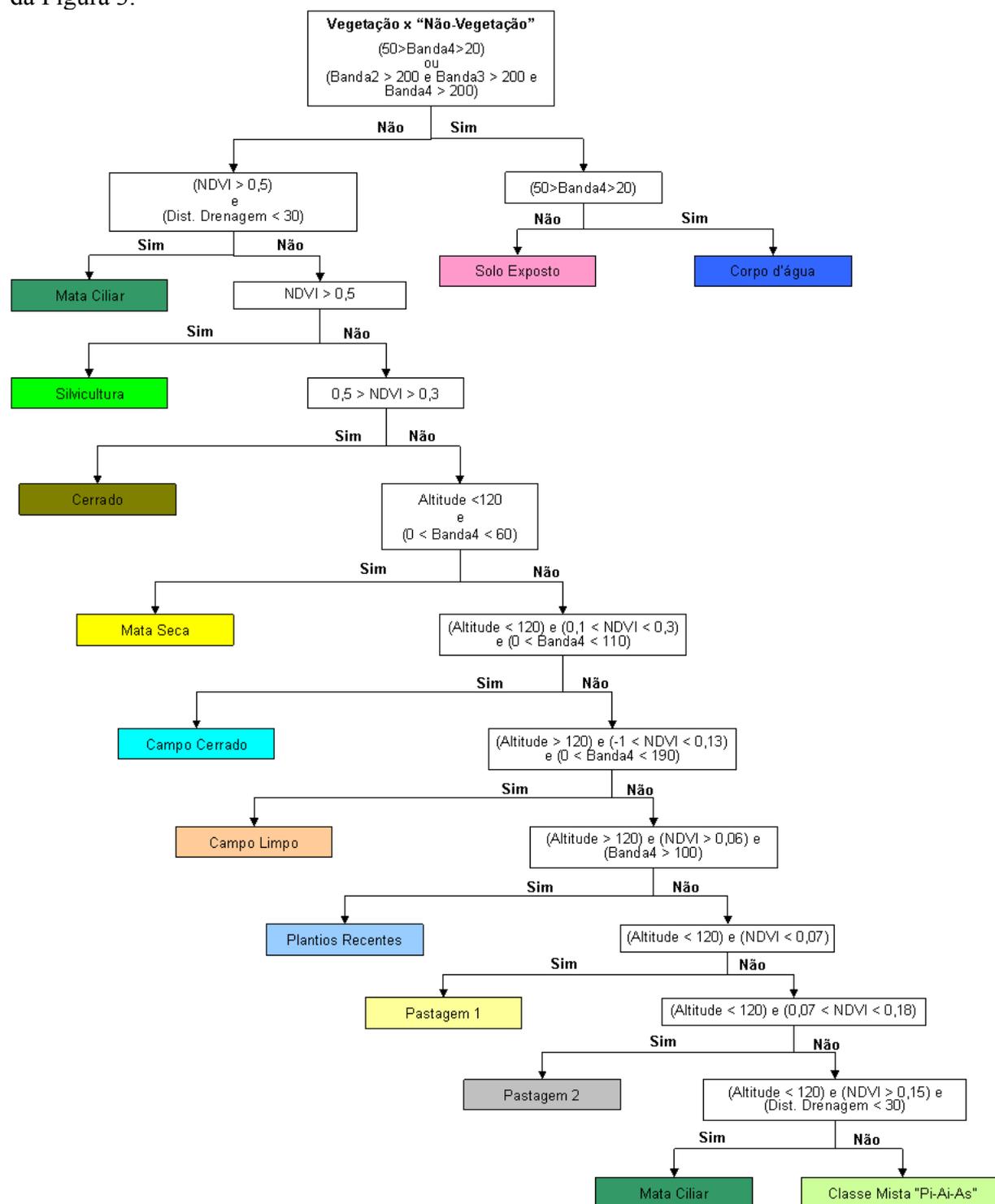


Figura 3 – Árvore de decisão proposta, construída a partir de informações espectrais e não-espectrais (obs: os valores reais de altitude foram convertidos em nível de cinza).

Aplicando-se a árvore de decisão às informações espectrais e não-espectrais selecionadas, efetuou-se uma classificação, cujo resultado encontra-se apresentado na Figura 4.

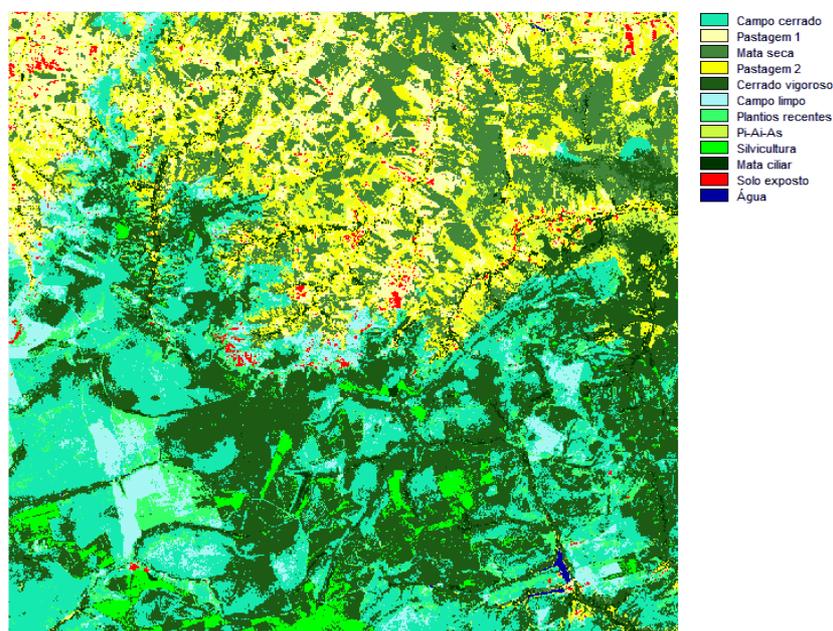


Figura 4 – Recorte de uma cena Landsat, da área de estudos, classificada a partir da aplicação da árvore de decisão proposta.

Interpretando-se os valores expressos na matriz de confusão, ao se avaliar a imagem classificada, confrontando-a a um arquivo de “Verdades Terrestres”, observou-se que o maior erro ocorreu na classe “Mata Ciliar”, com valor percentual de *pixels* erroneamente rotulados da ordem de 10% em relação ao número total de *pixels* previstos para a classe. Todas as outras classes apresentaram valores percentuais de erro menores. O índice global de acurácia “Kappa” calculado foi da ordem de 0,95, valor considerado excelente para a classificação, tendo-se como referência o arquivo de verdades terrestres.

3.2. Avaliação comparativa de Desempenho

O recorte de imagem utilizado para o teste da árvore de decisão também foi submetido a classificadores espectrais tradicionais. Dentre os algoritmos disponíveis nos softwares Idrisi e Spring, dois apresentaram desempenho satisfatório e, por isso, foram utilizados para a avaliação comparativa do método proposto no presente trabalho: o classificador “pixel-a-pixel” de máxima verossimilhança; e o classificador por regiões Battacharya. Na Figura 5, encontram-se apresentados os resultados.

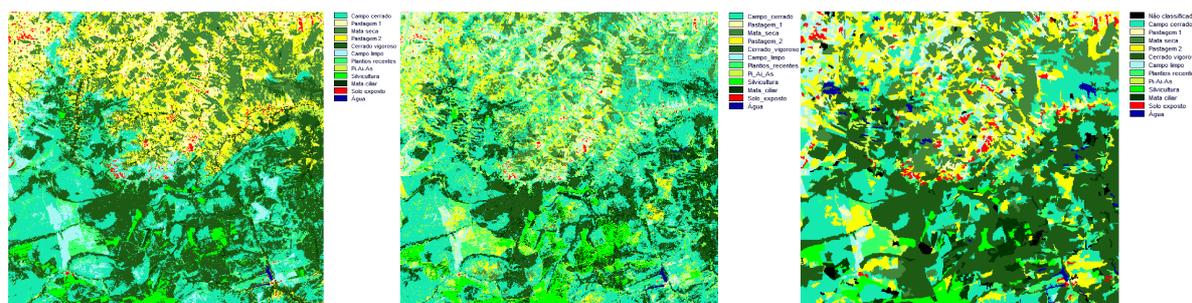


Figura 5. Resultados de classificações obtidas pelo método alternativo proposto e por dois classificadores tradicionais (da direita para a esquerda: árvore de decisão, máxima verossimilhança “pixel-a-pixel”; Battacharya por Regiões).

Efetuada-se uma análise visual, observou-se diferenças consideráveis entre os resultados, principalmente em relação às duas classes de pastagem, e às classes “Mata Seca”, “Campo Cerrado”, “Campo Limpo” e “Mata Ciliar”. Quantitativamente, a análise comparativa dos valores apresentados pelas matrizes de erros, apresentados na Tabela 1, pode ser mais efetiva.

Tabela 1 – Avaliação comparativa entre o método alternativo proposto e classificadores tradicionais

| Classe Mapeadas | Erro por classificador | | |
|----------------------------|------------------------|---|--------------------------|
| | Árvore de Decisão | Máxima Verossimilhança (Pixel-a-pixel) | Battacharya (Regiões) |
| Campo Cerrado | 0.075 | 0.305 | 0.255 |
| Pastagem 1 | 0,000 | 0.008 | 0.377 |
| Mata Seca | 0.053 | 0,000 | 0.024 |
| Pastagem 2 | 0.042 | 0,000 | 0.257 |
| Cerrado Vigoroso | 0.042 | 0,000 | 0.133 |
| Campo Limpo | 0.013 | 0.362 | 0.298 |
| Plantios Recentes | 0.047 | 0.003 | 0.169 |
| Classe Mista | 0.082 | 0.329 | 0.153 |
| Silvicultura | 0.011 | 0.096 | 0.024 |
| Mata Ciliar | 0.100 | 0.833 | 0.722 |
| Solo Exposto | 0.050 | 0,000 | 0.100 |
| Corpo d’água | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Acurácia Global (Kappa) | 0,95 | 0,81 | 0,85 |

Para quase todas as classes, o classificador do tipo “Árvore de Decisão” apresentou melhor desempenho. Mesmo para as classes em que o seu erro foi maior que o apresentado pelos outros dois métodos, os valores situaram-se abaixo de 0,10. A classe que mais se beneficiou com a aplicação do método proposto foi a “Mata Ciliar”, devido à forte influência da informação não-espectral “distância em relação à drenagem”, inserida no processo de classificação. O classificador “Battacharya” obteve melhor desempenho que o da “Máxima Verossimilhança”, com índices globais de acurácia “Kappa” da ordem de 0,85 e de 0,81, respectivamente.

4. Conclusões

A partir dos resultados alcançados com a metodologia proposta, pode-se concluir que:

- o classificador alternativo proposto, baseado em árvore de decisão, com informações espectrais e não-espectrais, apresentou resultado satisfatório e melhor desempenho que classificadores tradicionais do tipo “pixel-a-pixel” e de “regiões”, para a alta complexidade do uso/cobertura da terra na área estudada;
- o resultado não possui caráter definitivo, uma vez que serão testadas outras informações não-espectrais, outros sensores remotos, resoluções espaciais e faixas espectrais de imagens orbitais, bem como outros parâmetros numéricos de avaliação da acurácia alternativos ao índice “Kappa”.

Agradecimentos

À FAPEMIG e ao IFNMG, pelo apoio financeiro e logístico.

Referências Bibliográficas

- Amaral, F. C. S.; Santos, H. G.; Áglio, M. L. D.; Duarte, M. N.; Pereira, N. R.; Oliveira, R. P.; Júnior, W. C. **Mapeamento de solos e aptidão agrícola das terras do Estado de Minas Gerais**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Nº 63. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2004, 95p.
- Boavida, I. S. S. **Utilidade e valor da integração de imagens de satélite de alta resolução espacial na produção de informação geográfica a nível municipal**. 2010. 136p. Dissertação (mestrado em Gestão do Território,) Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.
- Ferreira, M. V.; Riedel, P. S.; Marques, M. L. Comparação entre técnicas de classificação digital de imagens para a detecção de mudanças do uso e cobertura da terra. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.62, n.04, p.613-627, 2010.
- Lin, R. M. **Avaliação dos modelos de mistura espectral MESMA e SMA Aplicados aos dados hiperespectrais hyperion/EO-1 adquiridos na planície costeira do Rio Grande do Sul**. 2008. 140p. Dissertação (mestrado em sensoriamento remoto) UFRGS, Porto Alegre, 2008.
- Meneses, P. R. Princípios de Sensoriamento Remoto. In: Meneses & Almeida (Organizadores). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: Editora UnB, 2012. p 1-33.
- Moreira, M. A. (2001). **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 1 ed. INPE – São José dos Campos. 250p.
- Oliveira, B. M.; Santos, R. M.; Câmara, T. M.; Martins, R. S. F.; Vicente, M. R.; Lima, V. O. B. Análise multitemporal da perda de solo por erosão devido a mudanças no uso/cobertura da terra na bacia de contribuição da represa do Rio Salinas – Minas Gerais. In: III Seminário de Iniciação Científica e III Mostra de Trabalhos Científicos do IFNMG, 2014. Januária. **Anais...** 3p.
- Oliveira, I. A.; Vicente, M. R.; Santos, R. M.; Sousa, R. E. G.; Chaves, I. L. S.; Cruz, L. P.; Lima, V. O. B.; Júnior, W. P. S. Mapeamento detalhado do uso/cobertura da terra para a bacia do Rio Pardo, Minas Gerais. In: III Seminário de Iniciação Científica e III Mostra de Trabalhos Científicos do IFNMG, 2014b. Januária. **Anais...** 3p.
- Salis, H. H. C.; Santos, R. M.; Morelli, M. C. M.; Cardoso, R. L. R.; Chagas, F. M. F.; Mendes, V. J. P.; Vicente, M. R.; Lima, V. O. B. AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE CONFLITOS DE USO DA TERRA NA BACIA DO RIO PARDO: estudo de caso para uma sub-bacia localizada no Município de São João do Paraíso – MG. In: III Seminário de Iniciação Científica e III Mostra de Trabalhos Científicos do IFNMG, 2014. Januária. **Anais...** 3p.
- Santos, M. L. F.; Sousa, L. H. G.; Neto, C. F. S. Análise do uso e ocupação do solo da Área de Proteção Ambiental Tambaba. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 2011. Curitiba. **Anais...** INPE p.4526 – 4532. Disponível em < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1093.pdf>> Acesso em: 26 de jul. 2013.
- Toledo, L. O.; Anjos, L. H. C.; Couto, W. H.; Correia, J. R.; Pereira, M. G.; Correia, M. E. F. Análise multivariada de atributos pedológicos e fitossociológicos aplicada na caracterização de ambientes de cerrado no norte de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 33, n. 5, p. 957 – 968, 2009.