



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Avaliação das Técnicas de Classificação MAXVER, MAXVER – ICM e Distância Mínima Euclidiana de acordo com Índice Kappa

César Vinícius Mendes Nery¹, Fernando Hiago Souza Fernandes², Adriana Aparecida Moreira²,
Fernando Luiz Braga³

¹ Professor Msc. das Faculdades Santo Agostinho. Doutorando em Geografia, PUC Minas, Montes Claros-MG. Email: cvmn@hotmail.com, ² Graduando (a) em Engenharia Ambiental nas Faculdades Santo Agostinho, Montes Claros-MG. Email: hiagosf@hotmail.com; drica_sun@hotmail.com, ³ Engenheiro Ambiental. Faculdades Santo Agostinho. Montes Claros-MG. Email: fernando-eng.ambiental@hotmail.com

Artigo recebido em 30/07/2013 e aceite em 03/09/2013

RESUMO

O conhecimento da distribuição espacial dos tipos de uso e da cobertura da terra é fundamental para orientar a utilização racional dos recursos naturais e vêm contribuindo para o monitoramento da dinâmica terrestre. Nessa direção, as geotecnologias constituem-se em ferramenta prática e de um custo relativamente baixo, apresentando importantes informações que podem subsidiar o planejamento e a gestão do território. Aliada a esse contexto o processamento digital de imagens vêm sendo bastante utilizado, dada a uma vasta gama de algoritmos disponíveis e utilizados para o mapeamento do uso e ocupação do solo. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo avaliar os tipos de classificadores supervisionados pixel a pixel MAXVER; MAXVER – ICM ambos com limiar de aceitação 99,9 % e o classificador Distância Mínima Euclidiana. Dentre esses, o classificador MAXVER ICM se mostrou mais adequado de acordo com as amostras adquiridas versus a verdade terrestre para área de estudo.

Palavras-chave: classificadores, SPRING, uso e ocupação do solo.

Evaluation of Classification Techniques MAXVER, MAXVER-ICM and Minimum Euclidean Distance according to Kappa Index

ABSTRACT

The knowledge of spatial distribution of the types of land cover and use is essential to guide the rational use of natural resources and is contributing to the monitoring of land dynamics. In this direction, the geotechnologies are a practical tool and of a relatively low cost, showing important information that can help in the planning and management of the territory. In addition, the digital processing of images have been quite used, given to a wide range of algorithms available and used for the mapping of soil use and occupation. In this sense, the work aims to evaluate the types of supervised classifiers pixel by pixel MAXVER- both ICM with acceptance threshold of 99,9% and the Minimum Euclidean Distance classifier. Among these, the MAXVER ICM classifier proved best suited according to the acquired samples versus the reality to terrestrial study area.

Keywords: classifiers, SPRING, soil use and occupation.

1. Introdução

A interação natureza-homem tem se intensificado nos últimos anos, promovendo significativas mudanças na mesma. Essas mudanças ocasionadas ao meio se resumem ao atual modelo de desenvolvimento

econômico que hoje se predomina em escala mundial, norteados pela busca excessiva e contínua dos recursos naturais. Diante do quadro, intenso uso dos recursos naturais, aliado a ausência de um planejamento ambiental e urbano, a exploração desordenada tem como consequência a geração de impactos que, quando compilados podem acarretar em uma deterioração ambiental, seja

* E-mail para correspondência: cvmn@hotmail.com (Nery, C. V. M.).

ela de caráter pontual ou difusa. Nesse sentido, o despertar da sociedade à questão ambiental tem promovido cada vez mais o emprego de técnicas e ferramentas voltadas para o planejamento ambiental, dentre elas, o monitoramento do uso e ocupação do solo por meio da utilização do sensoriamento remoto.

As técnicas de processamento digital de imagens vêm sendo bastante utilizadas para o mapeamento do uso e ocupação do solo, de forma a auxiliar no processo da tomada de decisão por meio de uma melhor compreensão dos organismos terrestres e das ações do homem sobre o mesmo.

No Brasil, os primeiros relatos sobre a análise do uso da terra se iniciaram ao final da década de 1930, ao passo que nos anos seguintes, em meados de 1970 foram registrados tanto os avanços em análises classificatórias das formas e das dinâmicas de uso da terra especialmente a partir de focos temáticos, como o uso nos meios técnico e acadêmico de procedimentos estatísticos na geografia, proporcionando uma forte ênfase às análises quantitativas na produção dos trabalhos realizados nessa época (IBGE, 2006).

Dada a grande utilização do emprego do mapeamento do uso e ocupação do solo por imagens de satélite, em virtude da análise de extensas áreas e do baixo custo de processamento das imagens digitais, este trabalho tem como objetivo avaliar os tipos de classificadores supervisionados pixel a pixel MAXVER; MAXVER – ICM ambos com limiar de aceitação 99,9 % e o classificador Distância Mínima Euclidiana, disponíveis no sítio do Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING) (CÂMARA *et al.*, 1996).

1.1 Fundamentação Teórica

De acordo com Ferreira *et al.* (2010), ao aplicar técnicas de sensoriamento remoto, para obtenção de um panorama de mudanças do uso e cobertura da terra de uma dada área, torna-se imprescindível a análise espacial e mapeamento desta, uma vez que, a utilização dessas técnicas tem se mostrado fundamentais para o diagnóstico e monitoramento dos processos de uso e cobertura e de transformações na superfície da terra,

perfazendo-se essenciais na compreensão e modelagem das dinâmicas ambientais ocorridas.

Para o mapeamento de uma cobertura terrestre, é necessário empregar-se técnicas de classificação de imagens digitais. O processo de classificação se baseia em atribuir cada pixel a uma classe espectral definida, com a utilização dos dados espectrais disponíveis. A classificação pode ser não supervisionada e supervisionada, de acordo com o grau de intervenção do analista (NOVO, 2010), e ainda esta pode se dar por análise de um agrupamento de pixels, sendo a classificação por regiões, ou pela análise espectral isolada de cada pixel, a classificação pixel a pixel.

As técnicas de classificação pixel a pixel mais comumente utilizadas no *software* Sistema de Processamento de Informação Georreferenciadas (SPRING) (CÂMARA *et al.*, 1996), são o de Máxima Verossimilhança, Máxima Verossimilhança-ICM e Distância Mínima Euclidiana.

Segundo Leite e Rosa (2012) e Silva *et al.* (2011), o classificador máxima verossimilhança (MAXVER) é um algoritmo paramétrico, que associa classes considerando pontos individuais da imagem e assume que essas classes possuem distribuição normal, a partir dos parâmetros definidos e uma amostra de pixels adquiridas *a priori*, o algoritmo computa a probabilidade estatística de um pixel desconhecido pertencer a uma ou outra classe. Ainda sobre o classificador de Máxima Verossimilhança, Liu (2006), refere-se a ele, como um procedimento que envolve estimativas de valores médios de cada classe e da matriz de covariância de acordo com o padrão das amostras de treinamento para classificar a imagem.

O classificador de Máxima Verossimilhança-ICM, ao contrário do MAXVER, não só associa as classes considerando na imagem, pontos individuais, mas também considera a dependência espacial da classificação, ou seja, o contexto da imagem a ser classificada (LEITE e ROSA, 2012). Esse método é oriundo do método MAXVER, e em uma primeira fase da classificação, o algoritmo atribui classes aos *pixels* considerando apenas os valores de níveis de cinza, posteriormente, é considerado

informação contextual, calculando a ponderação das distâncias entre médias dos níveis de cinza das classes na classificação da imagem (GOMES, *et al.*, 2005).

No SPRING (CÂMARA *et al.*, 1996), também é possível utilizar o classificador de Distância Mínima Euclidiana para classificar imagens digitais, esse método compara a distância euclidiana do *pixel* à média de cada classe e o atribui à classe cuja média seja mais próxima a ele (BORGES, SILVA e CASTRO, 2007 e ENVI, 2007). O algoritmo de Distância Mínima Euclidiana é menos flexível que o algoritmo MAXVER, pois não utiliza uma matriz de covariância, sendo então, as classes desse classificador, caracterizadas por uma simetria espectral (ENVI, 2007).

Segundo Novo (2010), torna-se necessário após a classificação de imagens digitais, avaliar a sua exatidão, ou seja, a determinação de quão bom é o resultado da classificação em relação à realidade. Para se avaliar a acurácia do mapeamento elaborado, pode ser utilizado de análises estatísticas provindas de matrizes de erros que expressam a concordância entre a imagem classificada e o conjunto de amostras de referência. A matriz de erros compara, classe por classe, verificando se a classe a qual determinado alvo foi incluído corresponde a sua verdadeira classe. A matriz normalmente apresenta o número de linhas e o número de colunas iguais ao número de classes espectrais do estudo (MENESES e ALMEIDA, 2012). A avaliação da acurácia pode ser obtida por meio de coeficientes de concordância; dentre os mais usuais, se destaca o índice Kappa (COHEN, 1960). Esse índice se caracteriza por ser uma técnica multivariada discreta usada na avaliação da precisão de mapeamentos temáticos, utilizando todos os elementos da matriz de erros em seu cálculo. O índice Kappa, comumente usado na avaliação da acurácia, pode ser calculado por meio da equação 1 (FIGUEIREDO e VIEIRA, 2007):

$$k = \frac{N \sum X_{ii} - \sum X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum X_{i+} X_{+i}} \quad (1)$$

Onde:

N= número total de amostras;

$\sum X_{ii}$ = soma do número das amostras corretas nas linhas e colunas;

X_{i+} = soma linear; X_{+i} = soma colinear

De acordo com Landis e Koch (1977), a Tabela 1 a seguir, apresenta os valores do índice Kappa variando de 0 a 1 e suas respectivas concordâncias.

Tabela 1: Valores de Índice Kappa.

Índice Kappa	Concordância
< 0	Sem concordância
0.00 a 0.19	Pobre
0.20 a 0.39	Fraca
0.40 a 0.59	Moderada
0.60 a 0.79	Forte
0.80 a 1.00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

2. Material e Métodos

2.1 Área de Estudo - A Bacia do Rio Vieira (Figura 1) está totalmente inserida no perímetro do município de Montes Claros. O Rio Vieira, é a principal rede hidrográfica de Montes Claros, drena toda a mancha urbana da cidade, percorrendo aproximadamente doze quilômetros da direção sul à norte.

Montes Claros se localiza ao Norte do Estado de Minas Gerais, no Alto Médio São Francisco compreendido entre as latitudes 16° 5'31.38" e 17° 9'1.07" e longitudes 43°46'3.75" e 44° 6'30.79" e altitude de 638 metros (PMMC, 2010), possui cerca de 361.915 habitantes em unidade territorial de 3.568,941 km², está a cerca de 418 km da capital Belo Horizonte (IBGE, 2010). O clima da região é classificado como tropical semi-úmido, Aw na classificação Köppen, com temperatura média anual de 24°C e índice médio pluviométrico anual de 1.074 mm, predomina como formas vegetacionais, o cerrado caducifólio com manchas de mata seca; localizado na transição entre Cerrado e Caatinga (FRANÇA e SOARES, 2007 e LEITE, SANTOS e ALMEIDA, 2011).

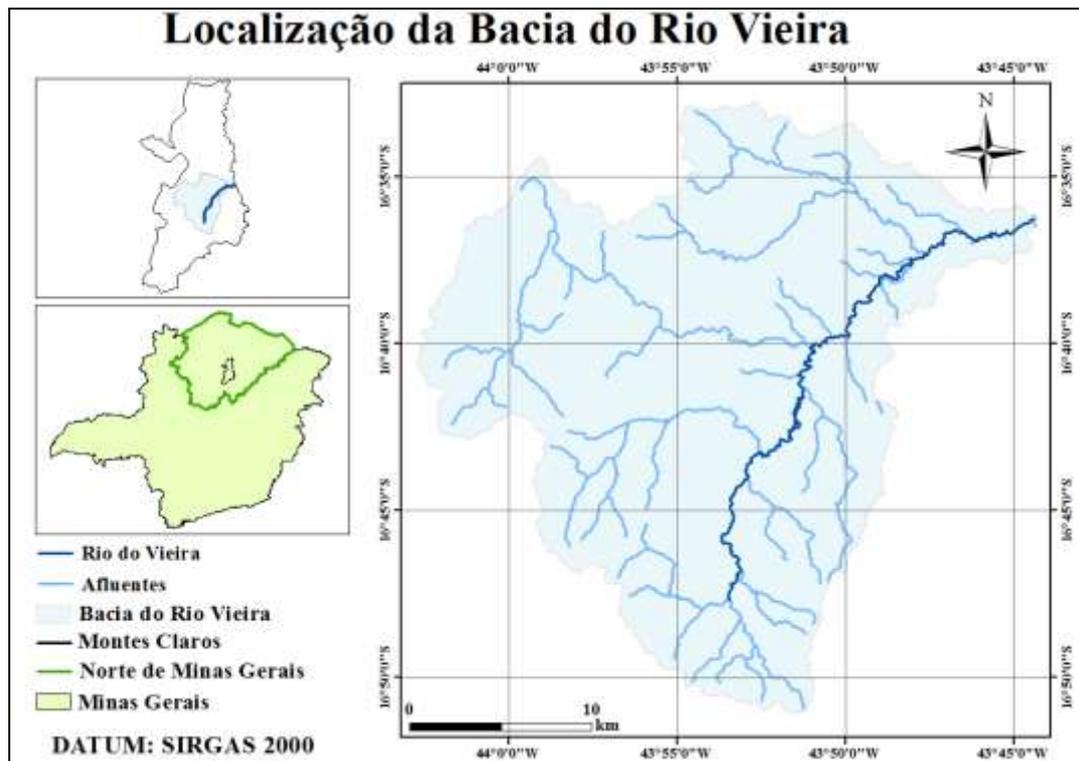


Figura1. Localização da Área de Estudo.

2.2 Base de Dados - Para realização das classificações propostas foi adquirida a cena do sensor LISS3 acoplado ao satélite ResourceSat-1 de órbita e ponto 332/089 na data de 16 de Dezembro de 2012, disponibilizada no catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A cena adquirida foi georreferenciada no *software* ENVI 5.0, utilizando como base a cena GLS-LANDSAT-TM5 de órbita e ponto 218/071, sendo adquiridos 6 pontos de controle. Utilizando metodologia proposta por Lima *et al.*, (2012) a bacia hidrográfica referente a área de estudo foi delimitada, na interface do aplicativo TerraViewHidro do *software* TerraView e dados altimétricos da cena 16S45_ZN dos dados SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), disponível pelo projeto TOPODATA.

Para o processamento da imagem, foi criado um banco de dados no *software* SPRING (CÂMERA *et al.*, 1996) com sistema de referência, latitude e longitude e modelo de terra, SIRGAS 2000, onde a imagem do sensor LISS3 foi recortada utilizando o perímetro da bacia da área de estudo. Na etapa de classificação, foram avaliados os classificadores supervisionados *pixel a pixel* MAXVER e MAXVER-ICM

com limiar de aceitação de 99,9% e o classificador, Distância Mínima Euclidiana.

Foram discriminadas oito classes de uso do solo na área de estudo para aquisição das amostras: solo exposto, vegetação natural, pastagem, recursos hídricos, silvicultura, mineração, área urbana e outros. As amostras foram adquiridas por meio de interpretação visual, utilizando como base mapas elaborados por Leite, Santos e Almeida (2011) e imagens do *software* Google Earth. Para avaliação da acurácia dos mapeamentos, foi utilizado o índice Kappa, sendo este o método mais comumente utilizado, pois de acordo com Novo (2010), este avalia a concordância dos dados em campo com os mapas elaborados por meio da classificação. As cartas temáticas foram elaboradas no layout do ArcGIS10.

3. Resultados e Discussão

De acordo com a análise visual das classificações pode-se observar com qual limiar de aceitação os classificadores obtiveram melhores resultados, mediante objetivos do trabalho.

Para os métodos MAXVER e MAXVER-ICM, que utilizam matriz de covariância, com um limiar de aceitação de 99,9% não foram observadas discrepâncias

que implicasse às classificações em um baixo índice de aceitação. Isso ocorre somente quando se tem redução do limiar, implicando na redução da diminuição da distância entre as médias dos níveis digitais das amostras coletadas, diminuindo a quantidade de áreas a

serem classificadas, o que não é demonstrado na presente situação uma vez que o limiar de 99,9% abrange praticamente 100% da imagem digital, conforme as Figuras 2 e 3.

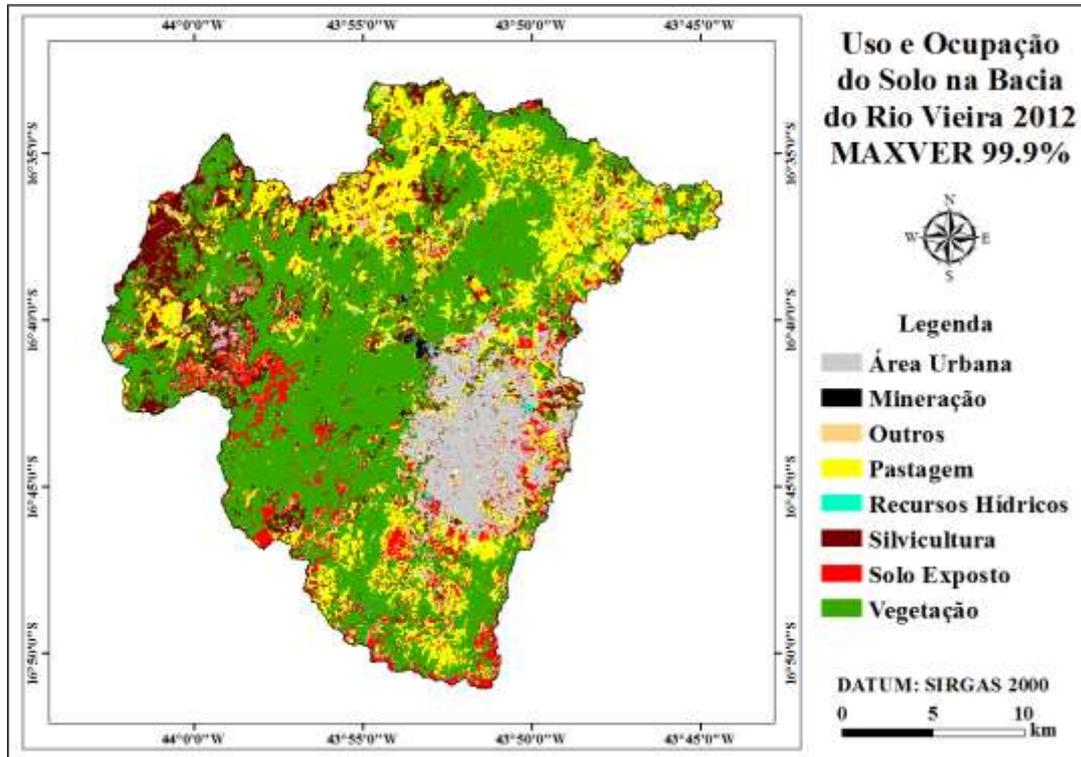


Figura 2: Uso e ocupação do solo utilizado o classificador MAXVER.

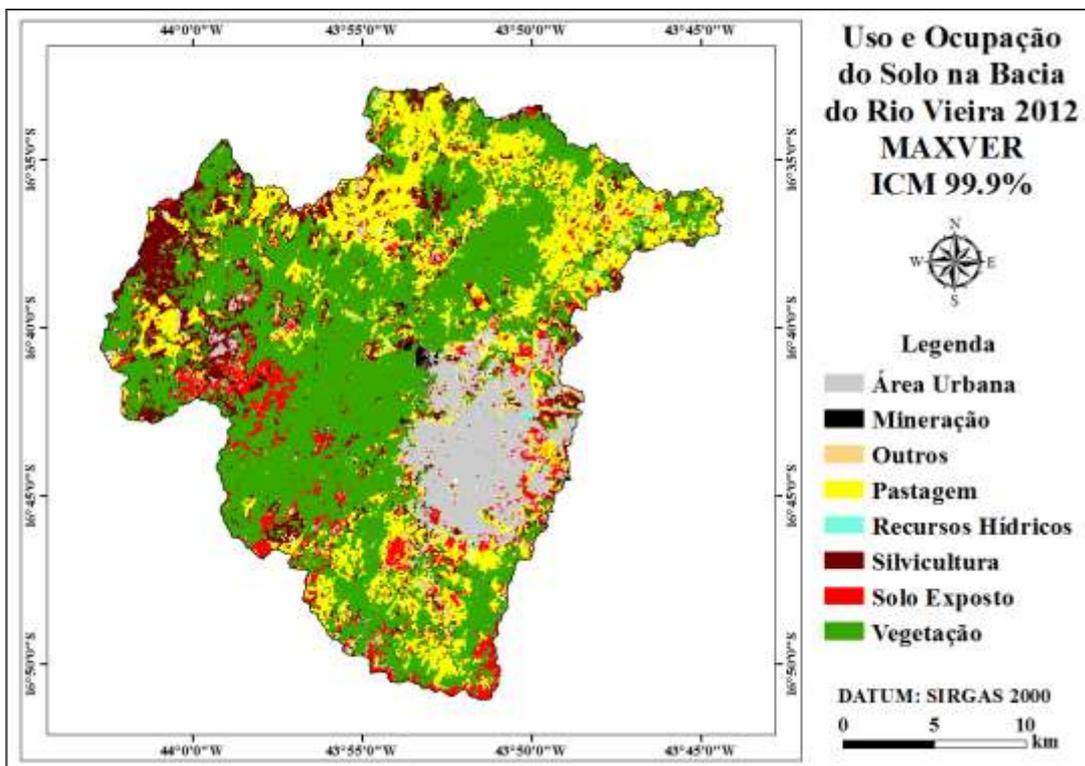


Figura 3: Uso e ocupação do solo utilizado o classificador MAXVER-ICM.

Como pode ser observado (Figuras 2 e 3) as classificações não apresentam áreas não classificadas (áreas em branco) o que se justifica pela rejeição de apenas 0,01% de áreas que possivelmente não tem relação com as classes pré-definidas, de acordo com o limiar de 99,9%.

A classificação utilizando o algoritmo MAXVER obteve maior confusão na classe de solo exposto, com uma exatidão de 56,76%, quando comparado ao classificador MAXVER-ICM, com uma confusão de 2,7%, conforme Figura 4 abaixo.

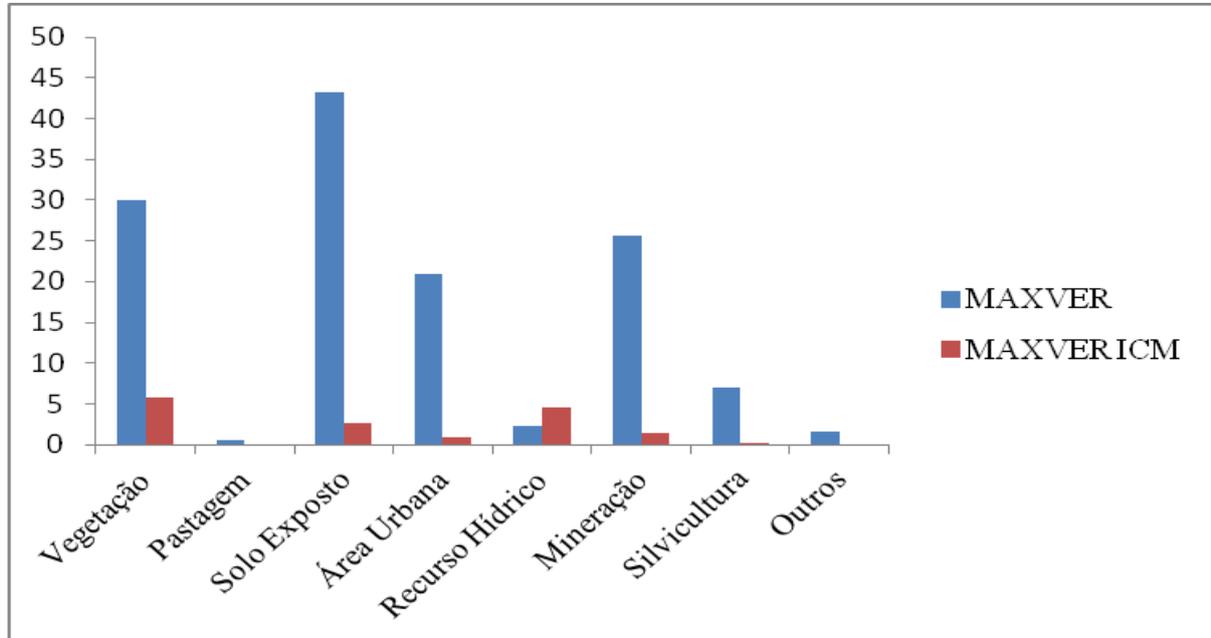


Figura 4. Confusão da exatidão do usuário entre os algoritmos MAXVER e MAXVER ICM.

Deve-se ressaltar que entre os classificadores MAXVER e MAXVER-ICM o maior erro entre ambos foi verificado em duas classes distintas, solo exposto e vegetação, respectivamente, dada a característica que a resposta espectral dessas classes são similares, às áreas urbanas e às áreas de silvicultura; quando esta apresenta estruturas foliares bem definidas (Figura 4). Para verificar essa hipótese, o nível digital de áreas que apresentaram esse tipo de confusão foi analisado e notou-se que, nas três bandas utilizadas para a composição colorida (RGB), os valores de nível digital são semelhantes para ambas classes.

Como a interpretação visual não é suficiente para avaliar o método classificador que melhor representa o uso atual do solo na área de estudo, foi necessário aplicar o índice Kappa que mede a acurácia das classificações em relação à verdade terrestre. Desta forma o classificador MAXVER-ICM obteve um índice de 0,75, levemente superior ao classificador MAXVER, que por sua vez

obteve um índice de 0,74, indicando forte concordância segundo Landis e Koch (1977).

O classificador Distância Mínima Euclidiana não utiliza nenhuma opção de ajuste, ou seja, não possui limiar de aceitação, obtendo sempre os mesmos resultados.

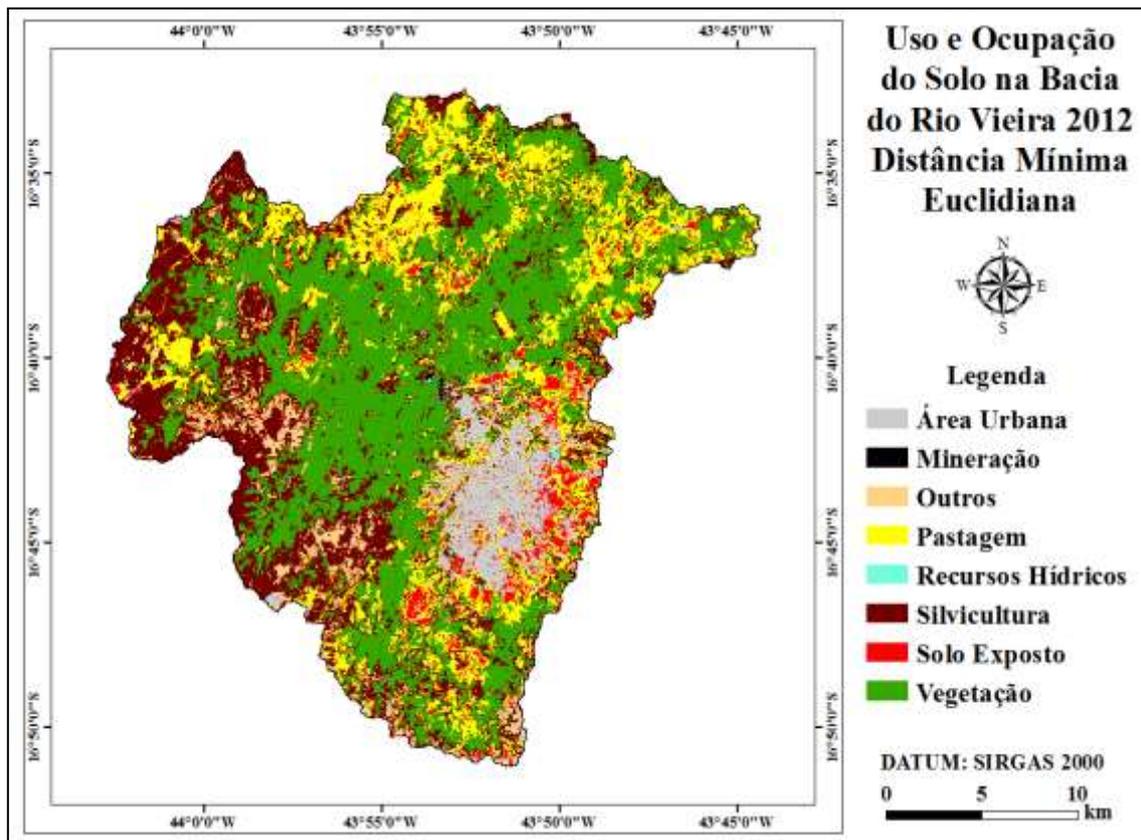


Figura 5: Uso e ocupação do solo utilizado o classificador Distância Mínima

Como pode ser observado na Figura 5, esta apresenta grande confusão de classes, em principal a classe Silvicultura, com as demais classes. Segundo Silva *et al.*, (2013) isso se dá pelo fato de que uma área classificada como antrópica, uma estrada de terra, por exemplo, ter uma resposta espectral similar a uma área de cultivo em estágio inicial, com grande parcela de solo exposto, ao passo que em estágio bem desenvolvido apresenta resposta espectral semelhante a de vegetação arbórea.

Dessa forma, o classificador Distância Mínima Euclidiana apresentou resultado satisfatório quando comparado com os classificadores MAXVER e MAXVER-ICM o que se evidencia pelo resultado obtido através do índice Kappa, sendo igual a 0,61, que segundo Landis e Koch (1977) tem forte concordância, porém, os outros apresentaram valores superiores.

O valores de índice Kappa obtidos são apresentada na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2: Índice Kappa.

Classificador	Índice Kappa
MAXVER 99.9%	0,74
MAXVER-ICM 99.9%	0,75
Distância Mínima Euclidiana	0,61

4. Conclusão

De acordo com os resultados obtidos, todos os métodos de classificação multiespectral avaliados apresentaram valores de índice Kappa que satisfazem a análise de uso e ocupação do solo, todavia o classificador MAXVER-ICM obteve índice Kappa superior aos demais. Os métodos MAXVER e MAXVER-ICM possibilitam interferências humanas o que acarreta na obtenção de melhores resultados quando comparado com o método Distância Mínima Euclidiana.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Núcleo Interinstitucional de Estudos Ambientais do Norte de Minas (NIEA-NM) e a Fundação Santo Agostinho pelo apoio e incentivo.

6. Referências

BORGES, R. O.; SILVA, R. A. A.; CASTRO, S. S. Utilização da classificação por distância euclidiana no mapeamento dos focos de Arenização no setor sul da alta bacia do Rio Araguaia. Anais... Florianópolis - SC, 2007, p. 3777- 3784.

- CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. C. P. SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS with Object-Oriented Data Modelling. *Computers and Graphics*, v.15, n.6, p.13-22, 1996.
- COHEN, J. A. Coefficient of Agreement for Nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*. v. 20, nº1. 1960.
- ENVI. Guia do Envi em Português. *Visual Information Solutions: SulSoft Serviços de Processamento de Dados LTDA*, 2007.
- FERREIRA, M. V.; RIEDEL, P. S.; MARQUES, M. L.; TINOS, P. M. Comparação entre técnicas de classificação digital de imagens para detecção de mudanças do uso e cobertura da terra. *Revista Brasileira de Cartografia* Nº 62/04, 2010. ISSN 0560-4613.
- FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. *Anais...*, Florianópolis - SC, 2007 p. 5755-5762.
- FRANÇA, I. S.; SOARES, B. R. Expansão Urbana em Cidades Médias: Uma reflexão a partir do núcleo e da área central de Montes Claros no Norte de Minas Gerais. *Geo UERJ* - Ano 9, nº 17, vol. 2, 2007.
- GOMES, A. R.; FREITAS, C. C.; SANT'ANNA, S. J. S.; DUTRA, L. V. Avaliação da aplicação de classificadores pontuais e por regiões para imagem JERS-1 em ambiente SPRING. *Anais...* Goiânia - GO, 2005, p. 4421-4427.
- IBGE, 2006. Manual Técnico de Uso da Terra, 2ª edição. *Manuais Técnicos em Geociências nº 7*, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 91 p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/paine>l.php?codmun=314330#> Acesso em 10 de Maio de 2013.
- LANDIS, J.; KOCH, G. *The measurement of observer agreement for categorical data*, Washington, USA. *Biometrics*, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.
- LEITE, M. E.; SANTOS, I. S.; ALMEIDA, J. W. L. Mudança de Uso do Solo na Bacia do Rio Vieira, em Montes Claros/MG. *Revista Brasileira de Geografia Física* 04 -779-792, 2011.
- LEITE, E. F.; ROSA, R. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Rio Formiga, Tocantins. *Revista Eletrônica de Geografia*. v.4, n.12. 2012, p. 90-106.
- LIMA, F. A.; ALMEIDA, L. S.; BRAGA, F. L.; NERY, C. V. M. Utilização do Sistema de Informações Geográficas TerraView para Delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros – MG. VI GEONORDESTE - Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. 2012. Aracaju –SE.
- LIU, W. T. H. *Aplicações de Sensoriamento Remoto*. Campo Grande-MS: UNIDERP, 2006.
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Universidade Federal de Brasília – UnB. Brasília – DF, 2012.
- NOVO, E. M. L. M. *Sensoriamento Remoto Princípios e Aplicações*. 4. ed. São Paulo –SP: Blucher, 2010.
- SILVA, P. B. A.; VALÉRIO, L. P.; SANTOS, T. B. dos.; AICÂNTARA, E. H. de.; STECH, J. L. Análise de classificadores para mapeamento de uso e cobertura do solo. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XVI*, 2013, Foz do Iguaçu. *Anais...* Foz do Iguaçu: 2013. p. 2424-2430.
- SILVA, A. F.; BARBOSA, A. P.; ZIMBACK, C. R. L.; LANDIM, M. B.

Classificadores de imagens por técnicas de sensoriamento remoto e geoestatística. II Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias. Botucatu-SP, 2011.

PMMC – Prefeitura Municipal De Montes Claros. Dados da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico, Turismo, Ciência e Tecnologia, 2010.