

AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO DOS CLASSIFICADORES MAXVER E ISO CLUSTER DO SOFTWARE ARCGIS FOR DESKTOP, COM USO DE IMAGEM LANDSAT 8 DO MUNICÍPIO DE CÁCERES/MT

Iara Silveira do Nascimento¹

Carla Bernadete Madureira Cruz¹

Sandra Mara Alves da Silva Neves²

Edinéia Aparecida dos Santos Galvanin³

1 - Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ - Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGG - iarasn.geo@gmail.com; carlamad@gmail.com

2 - Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT – Departamento de Geografia - ssneves@unemat.br

3 - Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT – Departamento de Matemática - galvanin@gmail.com

ABSTRACT.

The objective of this study was to evaluate the accuracy of the classifiers Maxver and Iso Cluster in the ArcGIS for Desktop 10.2.2 (ESRI) software, using Landsat 8 image, covering the municipality of Cáceres / MT. Both classifiers are pixel by pixel, with a supervised (Maxver) and other non-supervised (Iso Cluster or Isodata). It used Landsat 8, sensor OLI (Operational Land Imager), whose thematic classes were defined: water, urban area, forest, riparian forest, grazing, bare soil and shade. The classification was performed using the tools in the ArcGIS Image Classification. For validation of classifications random points were created. The Maxver classification is performed using the selected training samples. Classes that occupied larger area of the municipality of Cáceres in Maxver classification were grazing (42.53%), forest (21.77%) and riparian forest (17.05%), while the Iso Cluster were grazing (46.18%), forest (28.51%) and riparian forest (10.88%). All classes were identified in Maxver, but the Iso Cluster, classes urban area and shade were not identified. The overall accuracy, Kappa, and Tau for the classifier Maxver was 52%, 31% and 44%, respectively. While the Iso Cluster classifier had an overall accuracy Kappa, and Tau of 53%, 29%, and 45%, respectively, both classifiers in ArcGIS had a moderate performance. Despite a median accuracy, the Maxver outperformed the Iso Cluster performance.

Keywords: Maxver, Iso Cluster, ArcGIS, Image Digital Processing, Geotechnologies.

1. INTRODUÇÃO

A classificação é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos e é utilizada em Sensoriamento Remoto para mapear áreas da superfície terrestre que correspondam aos temas de interesse. Alguns *softwares* de processamento de imagem orbital, tanto comerciais (pagos) quanto os de plataforma aberta (*open source*), utilizam classificadores conforme o tipo de supervisão (supervisionada e não-supervisionada).

Os classificadores podem ainda ser "pixel a pixel" ou por regiões. Os Classificadores "pixel a pixel" utilizam apenas a informação espectral de cada pixel para determinar regiões homogêneas. Estes classificadores podem ser separados em métodos estatísticos (utilizam regras da teoria de probabilidade) e determinísticos (não utilizam probabilidade) (MENDES, 1987). Os classificadores por regiões utilizam, além de informação espectral de cada "pixel", a informação espacial que envolve a relação com seus vizinhos. Procuram simular o comportamento de um foto-intérprete, reconhecendo áreas homogêneas de imagens, baseados nas propriedades espectrais e espaciais de imagens. A informação de borda é utilizada inicialmente para separar regiões e as propriedades espaciais e espectrais irão unir áreas com mesma textura (Brasil, 2006).

Os classificadores no *software* ArcGIS são pixel a pixel, mas o usuário pode quanto à supervisão, utilizar o supervisionado (Maxver) e o não-supervisionado (Iso Cluster ou Isodata). O classificador por máxima verossimilhança (*Maximum Likelihood* - Maxver) considera a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos pixels das classes, utilizando parâmetros estatísticos (BRASIL, 2006). Presume-se que as amostras de treinamento para cada classe e em cada banda estão normalmente distribuídas, ou seja, de forma Gaussiana. Em outras palavras, amostras de treinamento com histogramas bi ou tri modais em uma única banda não são ideais.

A eficiência deste classificador está na escolha das classes de treinamento que são utilizadas para estimar a forma da distribuição dos pixels de cada classe no espaço de n bandas. Além disso, a localização do centro de cada classe é importante. Caso os pontos não estejam distribuídos como esfera, porém, assemelhando-se mais a um elipsoide, espera-se que a possibilidade (probabilidade) de um ponto qualquer pertencer ao conjunto da classe dependerá não somente da distância ao centro do conjunto da classe, mas também das dimensões e direções dos eixos do elipsoide (MENESES e SANO, 2012).

O classificador Iso Cluster usa o algoritmo de agrupamento Isodata (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Techniques A.*), a letra A final foi inserida apenas para tornar o algoritmo pronunciável, sendo uma coleção de técnicas iterativas (BALL e HALL, 1965). O Isodata determina as características dos agrupamentos naturais de células do espaço de atributo multidimensional e armazena os resultados em um arquivo de saída ASCII. O Iso Cluster realiza o agrupamento dos dados multivariados combinados em uma lista de bandas de entrada. O arquivo de assinatura resultante pode ser utilizado como entrada para um instrumento de classificação, tal como ocorre na classificação Maxver, que produz um raster classificação não supervisionada (ESRI, 2014).

O Isodata estima uma atribuição de vetores de agrupamento de pixels candidatos e depois os move para as classes, conforme apontaram Richards e Jia (1986) e Ball e Hall (1965).

Face a argumentação apresentada, neste trabalho objetivou-se avaliar a exatidão dos classificadores Maxver e Iso Cluster implementados no *software* ArcGIS for Desktop, versão 10.2.2, utilizando na avaliação imagens Landsat 8 que recobrem o município de Cáceres/MT.

2. METODOLOGIA

2.1 - Área de estudo

A área selecionada para o desenvolvimento deste trabalho foi o município de Cáceres, que está localizado na região Sudoeste do estado de Mato Grosso, entre as coordenadas geográficas: 58°48'23" W e 15°27'42" S, 57°2'36" W e 17°37'3" S (Figura 1).

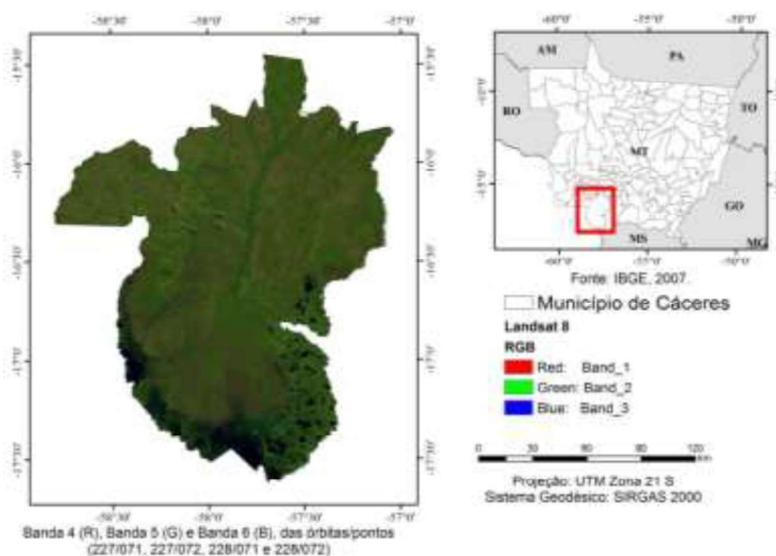


Figura 1: Carta-imagem Landsat 8 (Banda 4 (R), Banda 5 (G) e Banda 6 (B)), da área de estudo. Fonte: os autores, 2015.

2.2 - Procedimentos metodológicos

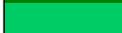
A base cartográfica referente aos dados da malha municipal digital de 2007 foi obtida no sítio do IBGE. As imagens Landsat 8, sensor OLI (*Operational Terra Imager*), bandas 4 (vermelho), 5 (NIR) e 6 (SWIR), com resolução espacial de 30 metros foram obtidas, no sítio do Serviço Geológico americano (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). As órbitas/pontos que recobrem a área são: 227/071, 227/072, 228/071 e 228/072. As datas de aquisição das imagens para as órbitas 227 e 228 foram 27/08/2014 e 01/07/2014, respectivamente.

O pré-processamento das imagens e a montagem do mosaico na composição RGB foi realizado no SPRING, versão 5.2.6, do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial - INPE

e o layout da carta imagem foi elaborado no ArcGIS. As imagens foram reprojadas para o hemisfério sul no ArcGIS for Desktop Advanced – versão 10.2.2, através da ferramenta de geoprocessamento *Project Raster*, na referência espacial SIRGAS 2000, UTM, Zona 21 Sul.

Com base na observação da imagem da área de estudo foram definidas as seguintes classes temáticas: Água, Área Urbana, Floresta, Mata Ciliar, Pastagem, Solo Exposto e Sombra, sendo que as cores adotadas podem ser visualizadas na (Tabela 1).

TABELA 1: PADRONIZAÇÃO DAS CORES DAS CLASSES TEMÁTICAS

Classe Temática	Cor	Cor R, G, B
Água		0, 0, 255
Área Urbana		255, 0, 0
Floresta		0, 128, 0
Mata Ciliar		0, 204, 102
Pastagem		255, 255, 102
Solo Exposto		255, 204, 102
Sombra		166, 166, 166

A classificação do mosaico foi realizada no ArcGIS utilizando-se a extensão *Spatial Analyst*, disponível na barra de ferramentas *Image Classification* podendo ainda ser realizado a partir do conjunto de ferramentas de geoprocessamento do Arc toolbox *Spatial Analyst*, na caixa de ferramentas *Multivariate*.

O processo de classificação supervisionada no ArcGIS consiste em realizar o treinamento a partir do *Training Sample Manager*, selecionando-se as amostras na imagem, segundo as classes temáticas pré-definidas. No caso deste estudo para cada classe temática obteve-se 30 amostras. Na sequência gerou-se o arquivo de assinatura no formato (.gsg) e na ferramenta Maxver foi inserido o arquivo raster, neste caso a imagem do Landsat 8 e o arquivo de assinatura definido no treinamento, visando a geração da classificação supervisionada.

O processo de classificação não-supervisionada Iso Cluster foi executado a partir da ferramenta de geoprocessamento *Iso Cluster Unsupervised Classification*, disponível na barra de ferramentas *Image Classification*. Os parâmetros aplicados foram os seguintes: raster de entrada (imagem Landsat 8), número de classes (7) e os valores padrões do ArcGIS, sendo o número mínimo de células para classificar (20 células) e o intervalo a ser utilizado na amostragem (10 células). Neste caso, há necessidade de pós-classificação para identificação das classes pré-definidas, na etapa inicial.

Para avaliar a acurácia das classificações utilizou-se a matriz de confusão, que segundo Congalton (1991) consiste numa matriz quadrada de números definidos em linhas e colunas que expressam o número de unidades da amostra (*pixels*, grupos

de *pixels* ou polígonos) atribuído a uma categoria particular relativo à categoria atual, conforme foi verificado em campo. Geralmente, as colunas representam os dados de referência, enquanto as linhas representam a classificação gerada a partir dos dados de sensoriamento remoto.

Para extrair as informações para a geração da matriz de confusão, as classificações geradas no ArcGIS foram convertidas para o formato vetorial (*feature class*), através da ferramenta *Raster to Polygon*.

No ambiente do ArcGIS criou-se 500 (quinhentos) pontos de forma aleatória, distribuídos na área de estudo (Figura 2), por meio da ferramenta de geoprocessamento *Create Random Points* (Criar Pontos Aleatórios), que está localizada na caixa de ferramentas *Data Management Tools* (Ferramenta de Gerenciamento de Dados), no conjunto de ferramentas *Feature Class* (Classe de Feição).

No aplicativo ArcMap usou-se o Serviço de Imagem da Esri (*World Imagery*), a partir do ArcGIS Online, para a validação dos pontos. Cada ponto criado para validação foi classificado numa das sete classes temáticas pré-definidas, considerando que o interprete tem conhecimento do espaço investigado. Esses pontos criados poderiam ser obtidos via GPS em trabalho de campo na área de estudo.

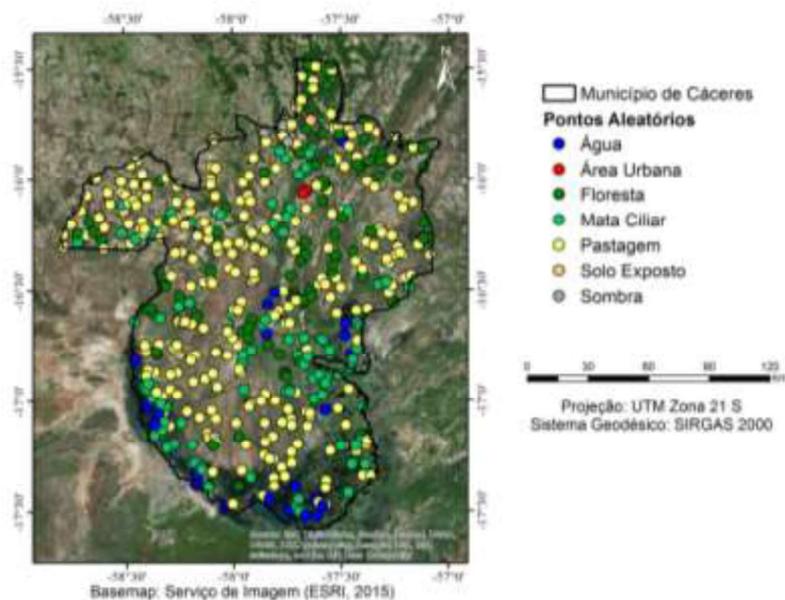


Figura 2: Pontos Aleatórios que serão usados para validar as classes temáticas na matriz de confusão. Fonte: os autores, 2015.

Para compor a matriz de confusão (Tabelas 2 e 3) foram utilizados os pontos gerados aleatoriamente, que foram classificados através da interpretação visual. Assim fez-se a interseção dos pontos aleatórios com as classes temáticas contidas nas classificações supervisionada e não-supervisionada (Figura 3 A e 3 B).

Para verificar o grau de concordância para cada classe em relação a cada classificador avaliado, foi utilizado o índice Tau que é uma técnica discreta multivariada que expressa a correlação entre a verdade de campo e as imagens classificadas baseadas em probabilidades (NAESSET, 1996; ANTUNES e LINGNAU, 1997). Naeset (1996) justifica que o índice Tau pode ser interessante como um coeficiente que reflete a acurácia de uma classificação, pois estima as concordâncias ao acaso. A interpretação da qualidade da classificação é feita a partir dos valores do índice de Tau no intervalo $[-1, 1]$ (LINGNAU e ANTUNES, 1997), (Tabela 4).

O índice Kappa é utilizado para verificar a confiabilidade dos mapas temáticos que são gerados a partir do processamento digital da imagem de sensoriamento remoto. Este índice considera a proporção de amostras corretamente classificadas, correspondentes à razão entre a soma da diagonal principal da matriz de erros e a soma de todos os elementos dessa matriz, representadas pelo número total da amostra, tendo como referência o número total de classes (COHEN, 1960). Os valores do índice Kappa podem ser qualificados conforme Landis e Koch (1977).

Alguns estudos mostram que Tau e Kappa apresentam valores muito próximos entre si quando as classes possuem uma mesma probabilidade. As expressões para a obtenção do índice Kappa pode ser encontrada em Coelho (2010), Congalton (1991) e Silva et al. (2011) e para o índice Tau em Congalton (1991) e Ma e Redmond (1995).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O classificador supervisionado (Maxver) apresentou melhor desempenho em relação ao classificador não supervisionado (Iso Cluster) na geração do mapa de cobertura vegetal e uso da terra do município de Cáceres/MT, como pode ser constatado na (Figura 3 A e 3 B), em que se observa pouca confusão entre as classes temáticas, embora este tenha distinguido menos classes temáticas do que o Maxver.

As classes área urbana e solo exposto apresentaram a mesma resposta espectral, assim como a de sombra e pastagem, na classificação gerada pelo classificador Maxver (Figura 3 A). Cabe informar que no pós-processamento apenas atribuiu-se as cores conforme as classes.

A ferramenta Maxver, no ArcGIS, não realiza segmentação como ocorre em outros *softwares* que realizam o processamento digital da imagem, sendo esta feita conforme as amostras selecionadas na etapa de treinamento. De acordo com a classificação gerada no Maxver as classes que ocuparam maior área no município de Cáceres foram: Pastagem (42,53%), Floresta (21,77%) e Mata Ciliar (17,05%). A urbe de Cáceres é pouco densa e concentrada espacialmente, padrão este diferente do apresentado pelas metrópoles e cidades de grande porte.

Verificou-se na classificação não supervisionada, gerada pelo classificador Iso Cluster (ou Isodata) ineficiência na distinção de classes temáticas (área urbana, solo exposto e sombra), corroborando para que as classes área urbana e sombra não fossem classificadas (Figura 3 B).

As classes identificadas pelo classificador Iso Cluster que ocuparam maior área no município de Cáceres foram: Pastagem (46,18%), Floresta (28,51%) e Mata Ciliar (10,88%).

Crósta (2002) aponta que a desvantagem do método Isodata reside no fato de que todos os *pixels* da imagem serão classificados, o que pode acarretar em mistura da resposta espectral dos temas.

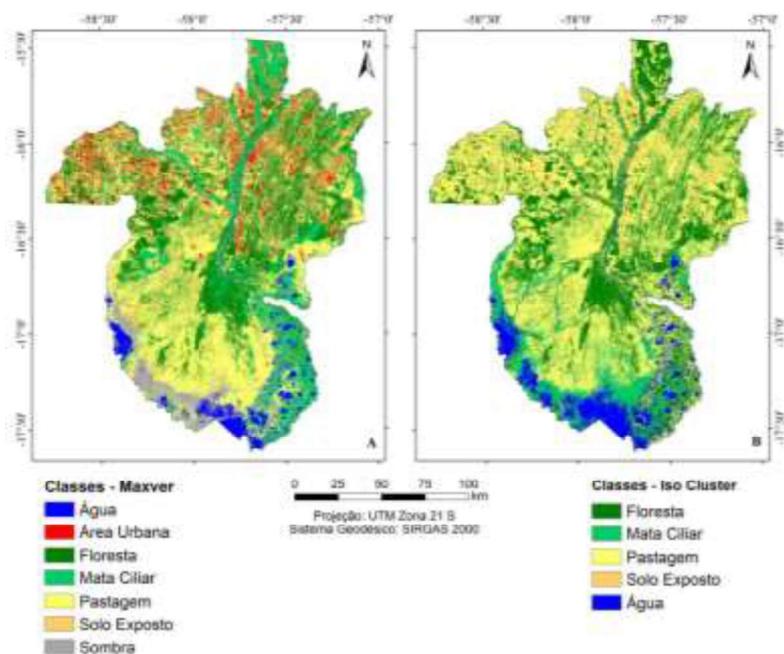


Figura 3: **A** - Classificação Maxver. **B** - Classificação Iso Cluster. Fonte: os autores, 2015.

Segundo Mello et al. (2012), é importante, que o trabalho de classificação considere as especificidades do funcionamento de cada algoritmo e, em particular, a possibilidade de minimizar os erros de confusão, escolhendo-se um número de classes adequado e definindo-se amostras, em conjunto com os parâmetros dos algoritmos, para diminuir a confusão. Por outro lado, esses fatores que contribuem para melhorar o desempenho dos classificadores, requerem treinamento mais elaborado do profissional que esteja executando o trabalho de classificação e demanda um trabalho mais demorado e primoroso de análise prévia dos dados e, posteriormente, à execução do algoritmo, de modo que possa haver casos em que o mesmo resultado final possa ser obtido pela correção dos resultados do classificador automático, com o auxílio de ferramentas de edição oferecidas nos sistemas de processamento de imagens e SIG.

Nas matrizes de confusão dos classificadores Maxver (Tabela 2) e Iso Cluster (Tabelas 3) são apresentadas a correspondência entre os pontos aleatórios de cada classe temática e as classificações supervisionada e não-supervisionada geradas.

TABELA 2: MATRIZ DE CONFUSÃO DO CLASSIFICADOR MAXVER.

Matriz de Confusão - Maxver																
Verdade	Água		Área Urbana		Floresta		Mata Ciliar		Pastagem		Solo Exposto		Sombra		Total Linha	
	Qtde.	(%)	Qtde.	(%)	Qtde.	(%)	Qtde.	(%)	Qtde.	(%)	Qtde.	(%)	Qtde.	(%)	Qtde.	(%)
Água	18	78,26	1	3,13	0	0,00	0	0,00	2	0,97	0	0,00	2	6,67	23	4,60
Área Urbana	0	0,00	2	6,25	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	2	0,40
Floresta	0	0,00	2	6,25	48	42,86	24	27,27	19	9,22	0	0,00	3	10,00	96	19,20
Mata Ciliar	3	13,04	0	0,00	16	14,29	34	38,64	24	11,65	0	0,00	14	46,67	91	18,20
Pastagem	2	8,70	26	81,25	47	41,96	28	31,82	159	77,18	8	88,89	11	36,67	281	56,20
Solo Exposto	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,49	1	11,11	0	0,00	2	0,40
Sombra	0	0,00	1	3,13	1	0,89	2	2,27	1	0,49	0	0,00	0	0,00	5	1,00
Total Coluna	23	100,00	32	100,00	112	100,00	88	100,00	206	100,00	9	100,00	30	100,00	500	100,00

TABELA 3: MATRIZ DE CONFUSÃO DO CLASSIFICADOR ISO CLUSTER.

Matriz de Confusão - Iso Cluster																
Verdade	Água		Área Urbana		Floresta		Mata Ciliar		Pastagem		Solo Exposto		Sombra		Total Linha	
	Qtde.	(%)	Qtde.	(%)	Qtde.	(%)	Qtde.	(%)	Qtde.	(%)	Qtde.	(%)	Qtde.	(%)	Qtde.	(%)
Água	18	56,25	0	0,00	0	0,00	4	6,45	0	0,00	1	3,03	0	0,00	23	4,60
Área Urbana	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	2	6,06	0	0,00	2	0,40
Floresta	0	0,00	0	0,00	60	41,10	5	8,06	29	12,78	2	6,06	0	0,00	96	19,20
Mata Ciliar	8	25,00	0	0,00	32	21,92	21	33,87	30	13,22	0	0,00	0	0,00	91	18,20
Pastagem	6	18,75	0	0,00	52	35,62	32	51,61	165	72,69	26	78,79	0	0,00	281	56,20
Solo Exposto	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,44	1	3,03	0	0,00	2	0,40
Sombra	0	0,00	0	0,00	2	1,37	0	0,00	2	0,88	1	3,03	0	0,00	5	1,00
Total Coluna	32	100,00	0	0,00	146	100,00	62	100,00	227	100,00	33	100,00	0	0,00	500	100,00

No método Maxver observou-se que há maior correspondência entre as classes pastagem, floresta e mata ciliar, porém a classe sombra foi confundida com as classes Água, Floresta, Mata Ciliar e Pastagem. No método Iso Cluster obteve-se maior correspondência entre as classes Floresta, Mata Ciliar e Pastagem.

Pode-se observar a partir da (Tabela 4) que não houve discriminação das classes Área Urbana, Solo Exposto e Sombra, no classificador Maxver, as classes Água e Pastagem obtiveram um bom índice de acurácia. Já no classificador Iso Cluster apenas a classe Pastagem apresentou um índice de acurácia superior a 0,5.

TABELA 4: ÍNDICE TAU PARA AS CLASSES INDIVIDUAIS.

Classes	Tau	
	Classificador Maxver	Classificador Iso Cluster
Água	0,75	0,48
Área Urbana	-0,09	-
Floresta	0,33	0,31
Mata Ciliar	0,28	0,23
Pastagem	0,73	0,68
Solo Exposto	-0,03	-0,13
Sombra	-0,16	-
Tau Geral	0,44	0,45

Como esperado, o Kappa para o classificador Maxver foi de 31% menor que o valor de Exatidão Global (52%), o classificador Iso Cluster apresentou o índice Kappa de 29%, também inferior à exatidão global (53%). Este fato pode ser explicado pela utilização de todas as células da matriz no cálculo do primeiro, considerando, portanto, os erros de exclusão e inclusão das classes. A diferença entre os valores das acurácias globais e o valor do índice Kappa ocorre, pois, segundo Congalton (1991), estes valores representam informações diferentes da matriz de confusão e recomenda que sejam usados em conjunto.

Para ambos os classificadores o coeficiente de concordância Tau apresentou valor mais próximo ao de Exatidão Global quando comparado aos valores de Kappa. Landis e Koch (1977) afirmaram que o desempenho de ambos classificadores do ArcGIS pode ser classificado como moderado, quando são considerados os valores da Exatidão Global e Tau, em virtude dos valores apresentados estarem contidos na classe de 0,40 a 0,59.

4. CONCLUSÕES

Baseado nos resultados da classificação e na matriz de confusão concluiu-se que o método Maxver apresentou melhor desempenho na distinção das classes temáticas na área definida para esse estudo, por ser um método supervisionado.

O método Iso Cluster não distinguiu na classificação os temas Área Urbana e Sombra. Problema este que não foi observado na classificação gerada utilizando o classificador Maxver, em que foram separadas todas as sete classes, definidas previamente na etapa de treinamento. O problema de não distinção de classes apresentado na classificação, gerada pelo Iso Cluster, pode ser contornado utilizando técnicas de geoprocessamento (edição), que demandam de tempo para realização.

Os classificadores Maxver e Iso Cluster do ArcGIS não apresentaram uma boa acurácia, pois o índice Kappa foi de 31% e 29%, respectivamente. Possivelmente, o fato de não realizarem a segmentação, como ocorre em outros *softwares*, pode ser um fator a ser considerado no aprimoramento do *software*, para que se obtenha uma melhor acurácia no processo de classificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, A. F. B.; LINGNAU, C. Uso dos Índices de Acurácia para Avaliação de Mapas temáticos obtidos por meios de classificação digital. In: III Congresso e Feira para Usuário de geoprocessamento, 1997, Curitiba, III Congresso e Feira para Usuário de geoprocessamento, Curitiba: Sagres, 1997.

BALL, G. H.; HALL, D. J. A novel method of data analysis and pattern classification. Menlo Park, California: Stanford Research Institute. 1965. 79p. Disponível em: <<http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=AD0699616>>. Acessado em 12 out 2014.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Manual do SPRING – Tutorial de Geoprocessamento. 2006. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/segmentacao.html>>. Acessado em: 11 out 2014.

COHEN, J. A. Coefficient of agreement for nominal scales. Educational and Psychological Measurement, v. 20, n. 1, p. 37-46, 1960.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment, v. 49, n. 12, p. 1671-1678, 1991.

CRÓSTA, A. P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. 4 ed. Campinas: Instituto de Geografia: UNICAMP, 2002. 164 p.

EARTH EXPLORER. Imagens Landsat 8. 2014. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acessado em: 11 out 2014.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. ArcGIS for Desktop Advanced. Release 10.2.2. Redlands, CA, 2014.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. Iso Cluster (Spatial Analyst). 2014. Disponível em: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#/Iso_Cluster/009z000000pm000000/>. Acessado em: 17 out 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malha Municipal Digital. 2007. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#TERRIT>. Acessado em: 13 out 2014.

LANDIS J. R., KOCH G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics. v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

LINGNAU, C.; ANTUNES, A. F. B. Avaliação da acurácia de mapas temáticos oriundos de classificação digital de imagens. In: IV Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, 1997, São Paulo: USP, 1997.

MA, Z.; REDMOND, R. Tau Coefficients for Accuracy Assessment of Classification of Remote Sensing Data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 61(4), p. 435-439. 1995.

MELLO, A. Y. I.; ALVES, D. S.; LINHARES, C. A.; LIMA, F. B. Avaliação de técnicas de classificação digital de imagens Landsat em diferentes padrões de cobertura da terra em Rondônia. Revista Árvore, v. 36, n. 3, mai.-jun., 2012.

MENDES, C. L. Classificação por Máxima Verossimilhança num ambiente maciçamente paralelo. Projeto Estra e Projeto Computação 87/1786-1. São José dos Campos/SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1987.

MENESES, P. R.; SANO E. E. Classificação pixel a pixel de imagens. In: Meneses, P. R.; Almeida, T. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. Brasília: UNB, 2012. p. 191-208.

NAESSET, E. Concitional Tau coefficient for assessment of producer's accuracy of classified remotely sensed data. ISPRS Journal of Photogrammetry, Elsevier, vol. 51, p. 91-98. 1996.

RICHARDS, J. A.; JIA, X. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction. Fourth Edition. New York: Springer Verlag, 2006. 431p.

SILVA, A. M.; MELLO, J. R. B.; BOSHI, R. S.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Avaliação de classificadores para o mapeamento de uso da terra. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., Curitiba-PR, 2011. Anais... São José dos Campos: INPE, p. 7324.