

Avaliação da acurácia dos classificadores de máxima verossimilhança, mínima distância euclidiana e isodata na classificação de imagens da região do Pantanal

Atilio Efrain Bica Grondona ¹

¹ Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - UFRGS
Av. Bento Gonçalves, 9500 - Caixa Postal 15044
91501-970 – Porto Alegre - RS, Brasil
Atilio.grondona@ufrgs.br

Resumo. O trabalho que segue tem como objetivo avaliar três classificadores digitais: ISODATA, MaxVer e Mínima Distância Euclidiana, na classificação de cenas TM-LANDSAT 5 tomadas na região do Pantanal. Para a classificação da imagem foram utilizados parâmetros *a priori*, como número de classes e amostras de cada classe, com a finalidade de termos os mesmos parâmetros ao gerar a imagem temática. Como medidas de acurácia foram escolhidas o índice kappa, as tabelas de contingência, as verdades de campo, além da inspeção visual das imagens temáticas. De posse destes dados, é possível avaliar o desempenho de cada um dos classificadores, onde é constatado que devido ao número representativo de amostras para cada classe, o melhor desempenho foi obtido pelo classificador MaxVer, que obteve 92,0% de acurácia, porém, apesar do bom desempenho global, a classe dos cultivos obteve apenas 71,2% de acurácia, o que é devido ao número de amostras ser relativamente pequeno. Com isso conclui-se que, ao se ter um número representativo de amostras para cada classe, o método que apresenta melhor desempenho na classificação de uma cena digital na região analisada é o MaxVer.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, classificação de imagens, acurácia, Pantanal.

Abstract. The following paper aims to evaluate three digital classifiers: ISODATA, MaxVer and Minimum Euclidean Distance in the classification of Landsat-TM 5 scenes acquired in the region of the Pantanal. For the image classification *a priori* parameters were used as the number of classes and samples of each class, with purpose to have the same parameters as the thematic image is generated. As measures of accuracy, "kappa" index was chosen, contingency tables and the ground truths as well; besides visual inspection of thematic images. Using this data, is possible to evaluate the performance of individual classifiers, where is found that owing the number of representative samples for each class, the best performance was obtained by the classifier MaxVer, witch obtained 92.0% accuracy, however, despite the overall good performance, the class of crops reached only 71.2% accuracy, which is due to the number of samples be relatively small. Thus it is concluded that by having a representative number of samples for each class, the method that had better performance in classification of a digital scene in the region under consideration is MaxVer.

Key-words: remote sensing, image classification, accuracy , compare.

1. Introdução

As imagens de satélites, em meio digital, contêm informações sobre alvos na superfície que podem ser extraídas através do processo de classificação. Esse processo se baseia na distinção e identificação de diferentes alvos que possuem comportamentos espectrais diferenciados, permitindo uma classificação com base em atributos puramente espectrais. A classificação temática de imagens associa cada pixel da imagem a um determinado rótulo, obtendo-se como resultado um determinado tema. Existem essencialmente duas abordagens na classificação de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto: a classificação supervisionada e a não-supervisionada, Crosta (1992). Na primeira, classificação supervisionada, através de algoritmos pré-estabelecidos, o usuário procura identificar pontos na imagem pertencentes a classes desejadas, deixando ao programa de classificação a identificação de todos os demais *pixels* pertencentes àquelas classes. Já o processo de classificação não supervisionada consiste em atribuir cada *pixel* da imagem a um grupo de classe.

Ao trabalhar com mapas e informações provenientes de imagens de satélite em larga escala, a automatização do processo de classificação dos temas é crucial para uma análise sob o ponto de vista técnico e de subsídio a instrumentos de fomento governamental. O método de classificação que apresenta o melhor desempenho pode variar dependendo das características individuais de cada região. A maneira mais comum para expressar a precisão da cassificação automática, tanto de imagens quanto de mapas, está na declaração da porcentagem da área de mapa que foi corretamente classificada quando comparada com dados de referência ou "verdade de campo", denominada Exatidão Global. Esta declaração normalmente é derivada de uma contraparte da classificação correta gerada por amostragem dos dados classificados, e expressa na forma de matriz de erro, algumas vezes denominada de matriz de confusão ou tabela de contingência, Story & Congalton (1986). Uma método que pode ser utilizado o índice Kappa (K) como uma medida de precisão importante a ser associada à matriz de erro, por representá-la inteiramente, isto é, considerando todos os elementos da matriz e não apenas aqueles que se situam na diagonal principal. A coleta dos dados de referência, ou seja, aqueles que representam a situação real de campo à época da obtenção da imagem, é uma etapa essencial de qualquer projeto de classificação e mapeamento envolvendo dados obtidos por meio de sensoriamento remoto. Esses dados são usados para verificar a acurácia da classificação, bem como detectar distinção entre classes e aperfeiçoar o processo de treinamento do classificador.

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é avaliar três classificadores digitais, ISODATA, Máxima Verossimilhança e Mínima Distância Euclidiana, na classificação de uma imagem digital na região do Pantanal, e comparar as imagens temáticas geradas por cada método para que em conjunto com as verdades de campo, e o índice kappa seja possível escolher qual classificador desempenha melhor a separação por classes dados parâmetros fixos definidos a priori para os temas que caracterizam a região analisada.

3. Material e Métodos

Para a realização do trabalho foram estudados os métodos de classificação supervisionados de Mínima Distância Euclidiana e Máxima Verossimilhança (MAXVER), e o método não supervisionado Iterative Self-Organizing Data Analysis Techniques (ISODATA). A imagem escolhida possui órbita ponto 227/73 com data 25.05.2009 (**Figura 1**), e é do estado de Mato Grosso do sul, da região de Corumbá, onde constam queimadas com verdades de campo fornecidas pela Embrapa Pantanal. A cena do sensor TM5 a bordo do satélite LANDSAT possui sete bandas espectrais com numeração de 1 a 7, sendo que cada banda representa uma faixa do espectro eletromagnético captada pelo sensor, a resolução espacial deste sensor é de 30m nas bandas 1,2,3,4,5 e 7 e de 120m na banda 6 (termal). Para a classificação da imagem utilizamos os mesmos parâmetros em cada classificador e todas as bandas com exceção da banda 7 que é do termal, de forma a termos nas diferentes classificações os mesmos dados iniciais, como o número de classes e as amostras para cada classe, permitindo com isso a posterior comparação da eficiência dos diferentes processos, . O número de classes considerado, sendo sete classes no total, foram: vegetação (cultivo, vegetação, vegetação densa), solo, nuvem, queimadas e água/sombra, as amostras para cada classe, somando um total de 60 amostras selecionadas na imagem. A opção em concatenar água e sombra em uma única classe deve-se ao fato da resposta espectral da sombra ser semelhante ao alvo água, e também porque para delimitarmos os corpos de água, nesta imagem, bastaria utilizar a banda 4(infra-vermelho próximo) do TM5, onde toda a radiação é absorvida nesta região do espectro eletromagnético.

4. Resultados e Discussão

Máxima Verossimilhança e Mínima Distância Euclidiana

Abaixo temos as tabelas de desempenho dos classificadores de Máxima Verossimilhança (**Tabela 1**) e Mínima Distância Euclidiana (**Tabela2**).

Tabela 1. Desempenho dos classificadores de Máxima Verossimilhança

Nome Classe	Número Classe	Acurácia+ (%)	Número Amostras	1	2	3	4	5	6	7
vegetação	1	93.3	108847	101570	0	0	0	22	0	7255
veg_densa	2	97.7	19527	3	19084	11	199	53	15	162
Nuvem	3	100.0	14445	0	0	14445	0	0	0	0
agua_sombra	4	96.6	72177	7	2137	14	69711	36	232	40
Solo	5	96.8	32745	26	0	4	0	31698	64	953
queimada	6	98.7	50197	10	4	67	2	524	49549	41
Cultivos	7	71.2	31968	8507	0	32	1	666	1	22761
TOTAL			329906	110123	21225	14573	69913	32999	49861	31212
Confiabilidade da Acurácia (%)*				92.2	89.9	99.1	99.7	96.1	99.4	72.9

Desempenho Global da classe (308818 / 329906) = 93.6%

Kappa Estatística (X100) = 92.0%.

Tabela 2 . Desempenho dos classificadores de Mínima Distancia Euclidiana.

Nome Classe	Número Classe	Acurácia+ (%)	Número Amostras	1	2	3	4	5	6	7
vegetação	1	89.3	108847	97240	36	0	0	22	1	11548
veg_densa	2	98.2	19527	236	19173	0	8	2	75	33
Nuvem	3	99.4	14445	0	0	14365	0	64	0	16
agua_sombra	4	89.6	72177	29	7456	0	64639	0	51	2
Solo	5	80.8	32745	27	3	0	0	26457	3713	2545
queimada	6	98.4	50197	23	97	0	1	613	49403	60
Cultivos	7	59.9	31968	11950	2	0	0	849	20	19147
TOTAL			329906	109505	26767	14365	64648	28007	53263	33351
Confiabilidade da Acurácia (%)*				88.8	71.6	100.0	100.0	94.5	92.8	57.4

Desempenho Global da classe (290424 / 329906) = 88.0%

Kappa Estatística (X100) = 85.0%.

+ Acurácia do produtor.

* Acurácia do usuário.

Para o cálculo da estatística kappa, Congalton and Green (1999), foram tomadas como amostras de teste as mesmas amostras de treinamento, e a estatística é dada pela seguinte expressão matemática:

$$k = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c}$$

Onde:

P_0 é a acurácia observada;

P_c é a acurácia que ocorreu por mudanças;

A **Figura 1**, que é a composição falsa cor R:5, G:4 e B:3, estão distribuídas em marrom escuro as queimadas, em branco as nuvens, com tons de verde a vegetação e suas subclasses, preto e azul escuro a água e as sombras e finalizando com tons de laranja o solo.



Figura 1. Composição R5G4B3 imagem LANDSAT da região de Corumbá, MS.

Conforme as duas tabelas anteriores é possível ver a acurácia na seleção das amostras perante ambos os métodos de classificação supervisionados, sendo no MaxVer de 93,6% e na Mínima distância Euclidiana de 88,0%, de posse destes valores é possível considerar que as amostras são representativas dentro a imagem a ser classificada. Também era esperado que o classificador MaxVer gerasse um resultado mais factível que a Mínima Distância Euclidiana, e a confirmação deste fato é dada pela estatística Kappa, que é 92,0% e 85,5%, respectivamente, para o MAXVER e Mínima Distância Euclidiana (concordância excelente para o MaxVer). O que é claramente visível ao compararmos a composição falsa cor (**Figura 1**), com as imagens temáticas do MaxVer (**Figura 2**) e Mínima Distância Euclidiana (**Figura 3**), com ambas figuras seguindo à seguinte distribuição: em azul os cultivos, verde escuro a vegetação densa e verde claro a vegetação, laranja o solo, marrom as queimadas, em branco as nuvens e em preto as sombras e águas.

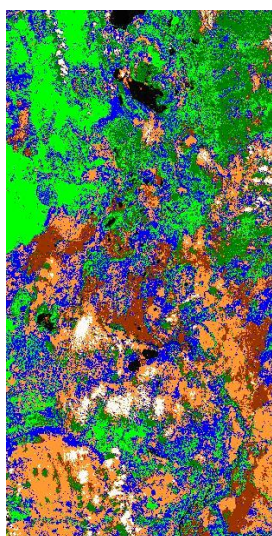


Figura 2. Imagem classificada pelo método MaxVer.

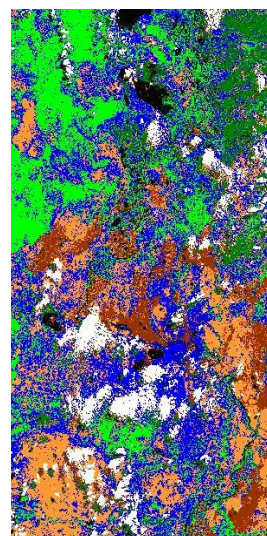


Figura 3. Imagem classificada pelo método Mínima Distância Euclidiana.

Os cultivos, tanto em um método como no outro, não retornaram bons resultados sendo classificados erroneamente como vegetação, isto é atribuído ao fato das amostras tanto de cultivo quando de vegetação terem médias e desvios-padrão muito próximos (**Tabela 3**) em todas as bandas utilizadas para a classificação. A vegetação densa obteve melhor resultado, pois nas bandas 4, 5 e 6 as suas médias e desvios-padrão são bem distintos das outras duas classes (vegetação e cultivo), apesar de não ocorrer o mesmo nas bandas do visível (**Tabela 3**). As nuvens possuem médias bem distintas dos demais alvos em todas as bandas deste sensor, fazendo deste alvo bem diferenciável na classificação, onde os melhores resultados foram obtidos com o classificador MaxVer, o que foi verificado nas imagens temáticas (**Figura 2**) e (**Figura 3**). Ambos os alvos restantes, solo e queimada, são melhores classificados com o MaxVer, pois suas médias e desvios-padrão são bem separáveis nas bandas 4 e 5, e nas demais bandas estes valores são próximos o suficiente para sofrerem erros pela Mínima Distância Euclidiana. Isto está evidenciado na **Tabela 3**.

Tabela 3. Estatísticas da classificação de vegetação.

Banda		1	2	3	4	5	6
cultivos	Média	51.1	22.9	20.8	57.0	53.2	17.7
	Desvio padrão	4.7	4.1	5.5	12.6	9.1	4.0
vegetação	Média	46.0	19.0	14.6	56.6	44.1	13.1
	Desvio padrão	2.2	1.9	2.4	7.2	5.8	2.3
veg_densa	Média	46.3	18.5	16.0	26.2	13.2	5.5
	Desvio padrão	2.1	1.4	1.9	6.7	5.5	2.0
nuvem	Média	228.1	123.3	145.7	130.5	167.2	96.6
	Desvio padrão	27.0	26.4	32.2	26.1	28.7	17.7
agua_sombra	Média	55.4	24.6	26.0	14.7	5.5	3.2
	Desvio padrão	7.5	5.2	7.8	4.8	3.1	1.5
solo	Média	52.7	23.7	25.4	41.3	74.8	31.0
	Desvio padrão	4.5	3.4	5.8	6.9	15.7	7.9
queimada	Média	52.2	21.3	21.1	21.8	41.7	27.2
	Desvio padrão	4.8	2.3	2.9	3.2	8.1	5.7

ISODATA

Nesta parte do estudo utilizou-se um método não supervisionado de classificação para comparação com os resultado obtido com os métodos supervisionados realizados previamente. Para tal foram utilizados os seguintes parametros: 7 classes e 98.0% de convergência no ISODATA. Como resultado foi obtida a imagem da **Figura 4**, que tem as classes associadas com o verde à vegetação, azul as águas, laranja o solo, rosa queimada, cinza as sombras e as nuvens em preto.

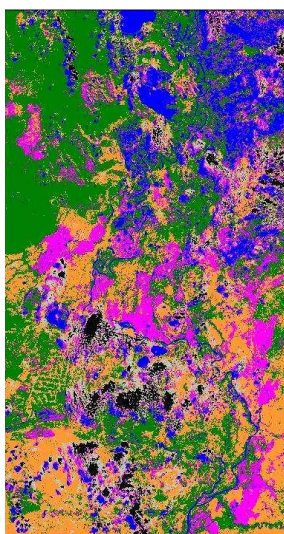


Figura 4. Imagem Classificada pelo método ISODATA.

Com estes parâmetros temos uma imagem temática com 7 classes, porém houve a separação entre dois tipos de nuvens (**Figura 5**), e a diminuição, para uma única classe, do alvo vegetação, bem como uma classificação errada do alvo água (**Figura 6**). No alvo queimada obtivemos resultados aceitáveis com a verdade de campo, e com a imagem LANDSAT-TM5. Houve também uma satisfatória classificação do alvo solo, incluso demarcações entre vegetações o que evidencia cultivos, indicando que há mais de um tipo de vegetação em toda imagem.

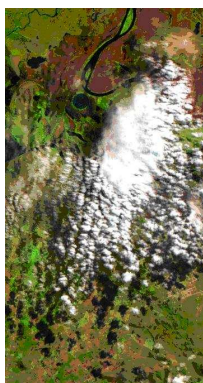
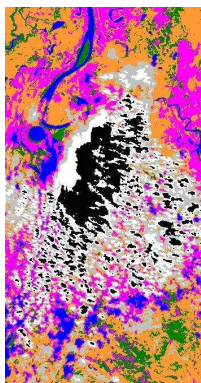


Figura 5. Classificação de nuvem em duas classes pelo ISODATA.

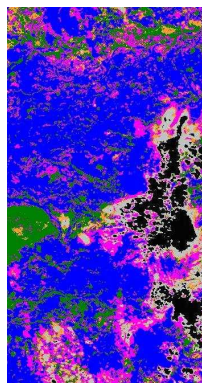


Figura 6. Classificação da vegetação como água pelo ISODATA.

Como mencionado anteriormente, com o ISODATA houve perda de informação na classificação do alvo água, em azul, onde, devido a resposta espectral, misturou-se com a sombra e a vegetação densa, e também houve a identificação, em marrom, de queimadas indevidas (**Figura 7**), enquanto que com o MaxVer houve uma classificação mais acurada (**Figura 8**).

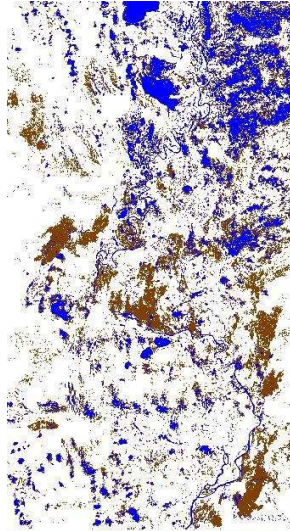


Figura 7. ISODATA, água/sombra e vegetação densa em azul e queimadas em marrom.

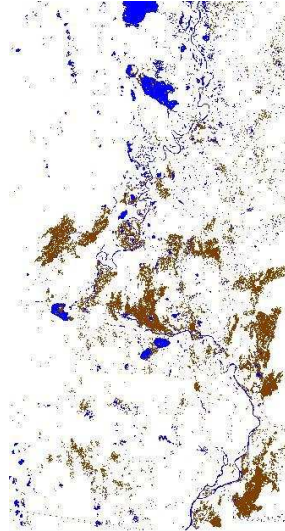


Figura 8. MaxVer, queimadas em marrom, água/sombra em azul.

As nuvens também sofreram deste mesmo tipo de erro com o ISODATA, pois este classificador identificou dois tipos de nuvens, ou seja, separou o núcleo do seu exterior (**Figura 9**), enquanto que o MaxVer os mantém agrupados (**Figura 10**).

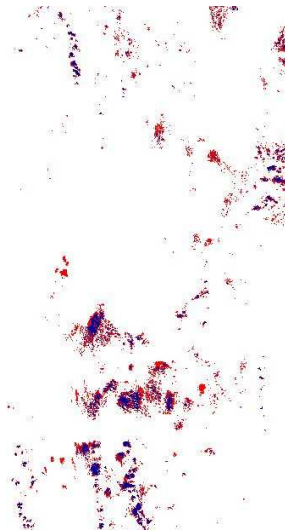


Figura 9. ISODATA, nuvens separadas em duas classes.

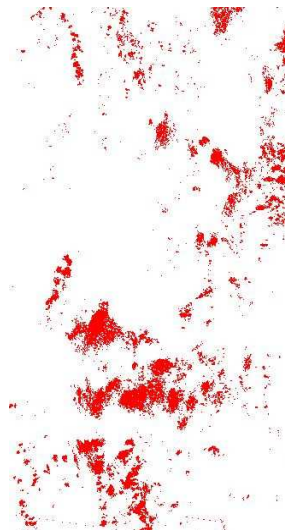


Figura 10. MaxVer, nuvens em uma única classe.

5. Considerações Finais

Com a finalidade de obter uma imagem temática adequada para uma posterior avaliação de acurácia entre os classificadores, definiram-se a priori parâmetros, os quais foram aplicados nos três métodos de classificação. Com o método não supervisionado (**Figura 12**) a classificação está disposta com a vegetação em verde, solo em laranja, preto água e sombra, marrom as queimadas, branco as nuvens, enquanto que nos métodos supervisionados (**Figura 12** e **Figura 13**) a distribuição das classes tem no verde escuro a vegetação densa, no verde claro a vegetação, no amarelo os cultivos, no marrom as queimadas, em branco as nuvens e com preto a sombra e água, e o solo em laranja. Com estes parâmetros e com o resultado dos classificadores ISODATA (**Figura 11**), MaxVer (**Figura 12**) e Mínima Distância Euclidiana (**Figura 13**) obtivemos as imagens temáticas abaixo, as quais por inspeção e comparação com a (**Figura 1**) nota-se a maior precisão do classificador MaxVer.



Figura 11. Classificação pelo método ISODATA.

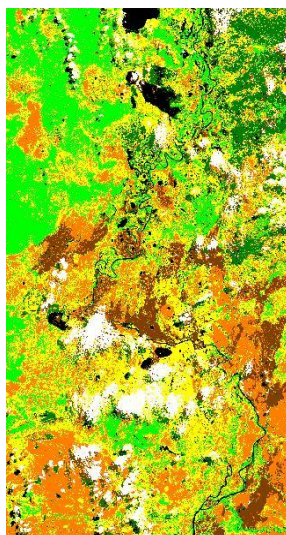


Figura 12. Classificação pelo método MaxVer.

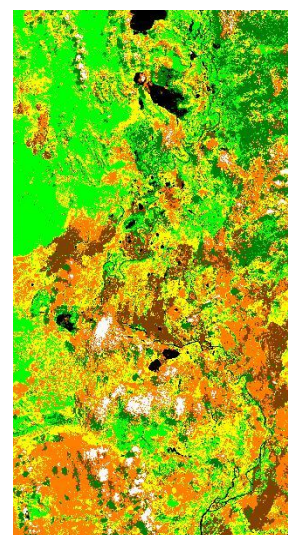


Figura 13. Classificação pelo métodos da Mínima Distância Euclidiana.

Para a validação da análise visual da acurácia dos classificadores, temos o índice Kappa igual a 92% de acurácia para o classificador MaxVer, sendo significativamente superior contra o índice Kappa de 85% gerado pela Mínima Distância Euclidiana.

6. Conclusão

Para esta região, com estes parametros definidos a priori, o método ISODATA obteve a menor acurácia, aglomerando classes evidentemente separáveis através de uma simples inspeção visual. O método da Mínima Distância Euclidiana obteve melhor desempenho em relação ao ISODATA, isto verifica-se com uma inspeção visual entre as imagens temáticas e com as verdades de campo, porém obteve a acurácia global de 85%, inferior a acurácia da Máxima Verossimilhança. Para a região do Pantanal, ao se obter uma imagem onde é possível extrair um número de amostras representativas de cada classe, é concluído que o uso do classificador Máxima Verossimilhança mostra-se superior em relação aos demais métodos abordados. Isto é notável através da análise obtida com os índices Kappa e, mais empiricamente, com uma inspeção visual nas imagens temáticas geradas.

7. Referências

Bolfe, E. L.; Pereira, R. S.; Madruga, P. R. A.; Fonseca, E. L. Avaliação da classificação digital de povoamentos florestais em imagens de satélite através de índices de acurácia. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.1, p.85-90, 2004.

Congalton, R. G., and K. Green. 1999. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: principles and practices**. CRC Press, Boca Raton, FL. 58 pp.

Crosta, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP. 1992. 170p.

Figueiredo, S. M. M.; Cavalcante, L. M.; Valentim, J. F.; Figueiredo, E. O. Avaliação da acurácia de classificação digital de imagens no mapeamento de áreas de pastagens degradadas em Rio Branco, Acre. **Anais... XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5789-5796.

Motta, J. L. G.; Fontana, D. C.; Weber, E. **Verificação da acurácia da estimativa de área cultivada com soja através de classificação digital em imagens Landsat**.

Story, M.; Congalton, R. G. Accuracy assessment: a user's perspective. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 52, n. 3, p. 397-399, 1986.