

Avaliação da acurácia de classificadores, utilizando técnica de fusão de bandas dos sensores ETM⁺/LANDSAT-7 e CCD/CBERS-1.

Camila Aguirre Góes¹
Wilson Lins de Mello Filho²
Valquíria Quirino¹
Melissa Carvalho³

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Av. dos Astronautas, 1758 – 12.227-010 – São José dos Campos - SP, Brasil
camila@dsr.inpe.br
vfquirino@hotmail.com

²Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira
Rua Kioto, 253 – 23.890-000 – Arraial do Cabo – RJ, Brasil
linsdemello@ieapm.mar.mil.br

³Instituto Oceanográfico – Universidade de São Paulo
Praça do Oceanográfico, 191 - 05508-900 - São Paulo – SP, Brasil
melissa@io.usp.br

Abstract. The aim of this study is to compare the performance of image classifiers through an accuracy analyses (visual analysis, area determination, confusion matrix and *Kappa* coefficient), using as ground truth an edited thematic map. For this, pre-processing techniques (atmospheric, geometric and radiometric corrections), contrast enhancement (IHS data fusion and principal component analysis) and classification of ETM⁺/Landsat-7 and CCD/CBERS-1 images were used. According to the results obtained we conclude that Iseog and Bhattacharya were the best classifiers for the classes used and the study site.

Palavras-chave: IHS, *Kappa* coefficient, classification, coeficiente *Kappa*, classificação.

1 . Introdução

A área de Processamento Digital de Imagens (PDI) tem evoluído paralelamente ao advento de novas tecnologias, devido à utilização de algoritmos que demandam custo computacional.

Para que os dados gerados por sensoriamento remoto sejam utilizados corretamente e com o máximo de aproveitamento é necessária a aplicação de um conjunto de ferramentas matemáticas e estatísticas que possibilitem a observação e a garantia da correção das informações contidas nos seus produtos finais.

As técnicas de PDI existentes se propõem a suprir essa necessidade e estão aplicadas às etapas de pré-processamento e processamento da imagem em si. A primeira etapa tem por objetivo preparar os dados adquiridos pelo sensor para serem corretamente usados. São empregadas técnicas para correção atmosférica e correção de distorções radiométricas e geométricas introduzidas pelo sensor. Na etapa seguinte são efetuados procedimentos objetivando a extração de informações.

Dentro deste contexto este estudo se propõe a avaliar o desempenho dos classificadores Iseog, Bhattacharya, Maxver, Maxver-ICM, através da porcentagem de acertos, do cálculo de área e do coeficiente *Kappa*.

2. Material e Métodos

Foram utilizadas imagens provenientes de dois sensores, ETM⁺ e CCD, a bordo dos satélites Landsat-7 e CBERS-1, respectivamente. Da imagem ETM⁺ utilizou-se apenas a banda pancromática (0,52-0,90 μ m), pré-processada por Carvalho (2003), e as bandas 2 (0,52 - 0,59 μ m), 3 (0,63 - 0,69 μ m) e 4 (0,77 - 0,89 μ m) da imagem CCD. As imagens foram processadas de acordo com os procedimentos resumidos na **Figura 1**, utilizando os programas Restau e Spring 4.1 e Idrisi Kilimanjaro.

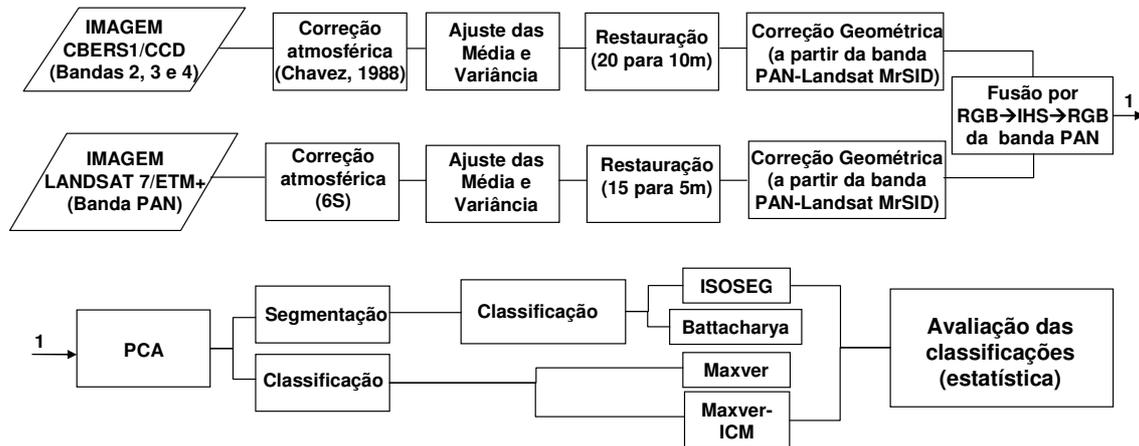


Figura 1. Sequência metodológica utilizada para o processamento das duas imagens utilizadas no trabalho (CCD/CBERS e ETM⁺/LANDSAT).

2.1 Pré-Processamento

Na imagem CBERS-1 procedeu-se a correção atmosférica através do método proposto por Chavez (1988). Posteriormente foi realizado o ajuste da média e da variância das bandas 2 e 3 a partir da banda 4. Finalmente foi realizada a correção radiométrica e reamostragem dos pixels de 20 para 10 metros, a partir do programa Restau - Image Restoration 0.0.15 (2002). A banda pancromática do sensor ETM⁺/LANDSAT-7 foi previamente restaurada, utilizando o programa RESTAU, de 15 para 5 metros. Ao término desta etapa procedeu-se a correção geométrica, onde foi efetuado o registro das bandas 2, 3 e 4 do CCD/CBERS-1 a partir da banda pancromática ETM⁺/LANDSAT-7. Desta forma permitiu-se que a exatidão cartográfica fosse mantida segundo o sistema de coordenadas UTM/SAD 69.

2.2 Realce de Imagem

Após o pré-processamento foi realizada a fusão IHS, onde a componente *Intensity* (I) do sistema IHS foi substituída pela banda PAN (ETM⁺/LANDSAT-7). Desta forma, se obteve uma imagem com resolução espacial de cinco metros com características espectrais originais.

Na imagem fusionada aplicou-se a transformação por Componentes Principais. Esta técnica é utilizada para descorrelacionar as bandas espectrais, concentrando na primeira Componente a informação anteriormente diluída nas várias dimensões. Como esta componente reúne a informação de brilho associada às sombras de topografia e às grandes variações de reflectância espectral geral das três bandas ela foi utilizada para ser segmentada e classificada.

2.3 Classificação

A primeira Componente Principal foi realçada e segmentada pela técnica de crescimento de regiões, posteriormente foi classificada a partir dos algoritmos Ioseg e Battacharya. O primeiro agrupa regiões a partir de uma medida de similaridade (distância de Mahalanobis), enquanto que o método Battacharya trabalha com a distância denominada distância de Battacharya, que é utilizada para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais, ou seja, mede a distância média entre as distribuições de probabilidades destas classes. Foram testados alguns limiares de segmentação e o que se mostrou mais adequado para a área de estudo foi o de 95%.

A mesma primeira Componente Principal foi utilizada para classificação “pixel a pixel” utilizando os algoritmos Maxver (Máxima Verossimilhança) e Maxver- ICM (*Iterated Conditional Modes*). O algoritmo Maxver considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos na classificação, já o algoritmo utilizado pelo classificador Maxver-ICM funciona de forma semelhante ao do Maxver, porém considera ainda a dependência espacial entre as classes.

2.4 Análise Comparativa dos Produtos

Como não se dispunha de amostras coletadas em campo para validar o experimento, utilizou-se como verdade o mapa de uso e cobertura do solo, produzido por Carvalho (2003). Este mapa continha um número maior de classes do que as definidas neste estudo, sendo necessário o remapeamento das classes para efeitos comparativos. A verificação da acurácia dos classificadores foi realizada a partir da porcentagem de acertos, do cálculo de área (em km²) e da estatística *Kappa*.

3 . Resultados e Discussão

3.1 Avaliação das classificações – Porcentagem de acertos

Considerando os algoritmos de classificação que necessitam de uma imagem segmentada, Ioseg e Battacharya, observa-se que apesar do algoritmo Battacharya ser um classificador supervisionado necessitando de amostras de treinamento e o Ioseg não necessitar desta etapa, os dois obtiveram resultados idênticos, coerentes com o tipo de informação presente na área de estudo (**Figura 2A/B**).

A matriz de erros obtida a partir destes classificadores revela que todas as classes representadas neste estudo foram subestimadas (erros de omissão), com exceção da classe Vegetação 2 e Duna que agruparam um número maior de classes que deveriam (erros de inclusão). Os classificadores não conseguiram identificar as classes Área Urbana e Manguezal (**Tabela 1**).

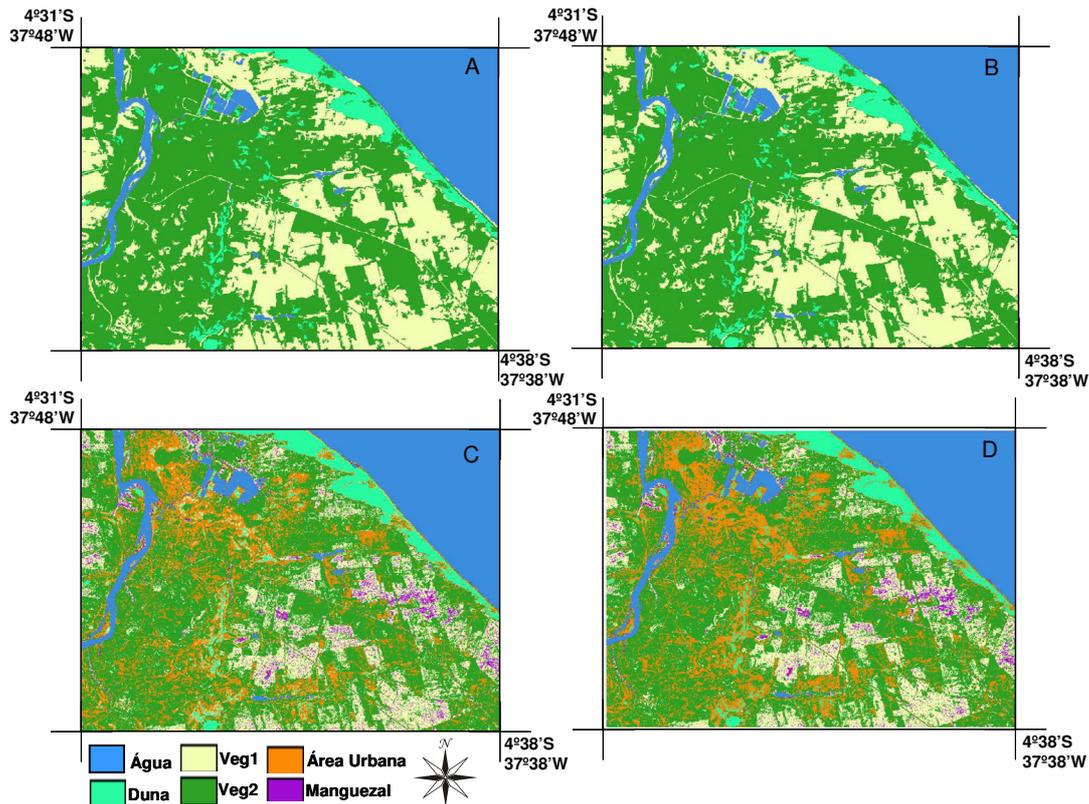


Figura 2. Classificação final das imagens ETM+/LANDSAT e CCD/CBERS a partir dos classificadores Isege (A), Batacharya (B), Maxver (C) e Maxver-ICM (D).

Tabela 1. Matriz de erros (em porcentagem) dos classificadores Isege e Batacharya.

	Água	Veg. 1	Veg. 2	Área urbana	Manguezal	Duna	Total
Água	14,68	1,08	1,95	0	0	0,27	18,00
Vegetação 1	0,10	22,79	21,08	0	0	0,42	44,40
Vegetação 2	0,28	3,70	26,33	0	0	1,07	31,38
Área urbana	0,09	0,04	1,41	0	0	0,01	1,54
Manguezal	0,19	0,52	0,25	0	0	0,01	0,97
Duna	0,0	0,16	0,52	0	0	3,03	3,72
Total	15,35	28,30	51,54	0	0	4,80	100

A partir dos resultados obtidos pelos classificadores “pixel a pixel”, podemos constatar que, visualmente, não houve grande diferença entre os dois métodos utilizados (**Figura 2C/D**). Este resultado pode ser confirmado pela matriz de erros (**Tabelas 2 e 3**), onde observa-se que esses dois algoritmos de classificação subestimaram as áreas ocupadas pelas classes Água e Vegetação 1 e superestimaram as demais classes.

Tabela 2: Matriz de erros (em porcentagem) do classificador Maxver.

	Água	Veg. 1	Veg. 2	Área urbana	Manguezal	Duna	Total
Água	14,84	0,49	1,49	0,69	0,27	0,22	18,00
Vegetação 1	0,20	12,65	24,13	4,89	2,15	0,39	44,40
Vegetação 2	0,37	1,90	20,04	8,11	0,24	0,72	31,38
Área urbana	0,09	0,06	0,85	0,51	0,01	0,02	1,54
Manguezal	0,26	0,23	0,26	0,07	0,15	0,01	0,97
Duna	0,01	0,18	0,32	0,32	0,01	2,86	3,72
Total	15,76	15,52	47,10	14,59	2,82	4,21	100

Tabela 3: Matriz de erros (em porcentagem) do classificador Maxver-ICM.

	Água	Veg. 1	Veg. 2	Área urbana	Manguezal	Duna	Total
Água	14,86	0,35	1,48	0,81	0,26	0,23	18,00
Vegetação 1	0,19	12,63	24,16	5,18	1,81	0,42	44,40
Vegetação 2	0,37	1,12	20,15	8,72	0,22	0,81	31,38
Área urbana	0,09	0,02	0,85	0,55	0,01	0,02	1,54
Manguezal	0,26	0,22	0,26	0,07	0,15	0,01	0,97
Duna	0,01	0,06	0,3	0,44	0,01	2,88	3,72
Total	15,79	14,4	47,20	15,78	2,47	4,36	100

3.2 Avaliação das classificações – Cálculo de área

As áreas correspondentes à cada classe foram comparadas com as áreas das classes do mapa temático utilizado como verdade de campo. Todos os classificadores subestimaram as classes Água e Vegetação 1 e superestimaram a classe Vegetação 2. Os classificadores Isoseg e Battacharya não conseguiram classificar a classe Área Urbana e Manguezal e os classificadores Maxver e Maxver-ICM superestimaram a área destas duas classes. A classe Dunas foi superestimada por todos os classificadores utilizados (Tabela 4).

Tabela 4. Matriz da área de cada classe (km²).

Classes\Classificador	Verdade de campo	Isoseg	Battacharya	Maxver	Maxver- ICM
Água	47,03	40,11	40,12	41,195	41,27
Vegetação 1	116,03	73,97	73,971	40,55	37,63
Vegetação 2	82,01	134,70	134,70	123,09	123,36
Área urbana	4,03	0	0	38,14	41,24
Manguezal	2,53	0	0	7,38	6,44
Duna	9,71	12,55	12,55	11,00	11,41
Total	261,35	261,35	261,35	261,35	261,35

3.3 Avaliação das classificações – Coeficiente *Kappa*

Com base no coeficiente *Kappa* calculado, percebe-se que dentre todas as classes, a classe Duna foi melhor classificada por Isoseg e Battacharya e a classe Água por Maxver e Maxver-ICM. As demais classes não obtiveram uma classificação muito boa, variando de 66 a 0% de acurácia (**Tabela 5**). Estas duas classes (Duna e Água) apresentam um comportamento espectral bastante distinto das demais, sendo facilmente diferenciadas e classificadas. Apesar das três classes de vegetação também apresentarem um comportamento espectral diferenciado, houve confusão na sua classificação, que resultou num baixo coeficiente *Kappa*. Da mesma forma a classe Área Urbana foi mal classificada, obtendo-se um baixo índice *Kappa*.

Tabela 5: Coeficiente *Kappa* de concordância entre a imagem classificada e a verdade de campo.

Classes\Classificador	Isoseg (95%)	Battacharya (95%)	Maxver (95%)	Maxver- ICM (95%)
Água	0,7826	0,7826	0,7917	0,7932
Vegetação1	0,3213	0,3213	0,1537	0,1641
Vegetação2	0,6677	0,6677	0,3169	0,3220
Área urbana	0,00	0,00	0,2201	0,2375
Manguezal	0,00	0,00	0,1257	0,1290
Duna	0,8065	0,8065	0,7598	0,7655
Total	0,5146 (reg.)	0,5146	0,3481 (ruim)	0,3541

Dentre os quatro classificadores testados, os que apresentaram melhores resultados foram os que utilizam uma imagem segmentada para realizar a classificação (Isoseg e Battacharya). O delineamento prévio das classes espectrais semelhantes mostrou ser bastante importante para uma boa classificação e, apesar do algoritmo utilizado pelo classificador Battacharya necessitar de amostras de treinamento para realizar a classificação, este obteve resultado idêntico ao obtido pelo classificador Isoseg, que não necessita de amostras de treinamento. Desta forma, o classificador Isoseg pode ser utilizado com maior facilidade, dispensando o conhecimento prévio da área de estudo.

As baixas concordâncias obtidas pelos diferentes métodos de avaliação utilizados neste estudo, refletem a confusão entre as diferentes classes, que pode ter ocorrido devido ao desempenho dos classificadores, mas que foi influenciada principalmente pela qualidade da imagem, que apesar de ter passado por um procedimento de pré-processamento não apresentou condições satisfatórias para distinguir as classes analisadas. Apesar da restauração da imagem ter melhorado a sua resolução espacial, definindo melhor os alvos de interesse, a resolução espectral pode ter sido comprometida tanto na aquisição da imagem quanto no seu processamento, resultando nos baixos índices de concordância encontrados.

Deve ser levado em consideração que, apesar da área não apresentar um dinamismo muito alto, as datas das imagens não são coincidentes e houve uma edição matricial do mapa temático que foi utilizado como verdade de campo.

4 . Conclusões

A avaliação dos classificadores pode ser realizada por diferentes métodos e recomenda-se que sejam realizados concomitantemente mais de um método de avaliação. De acordo com os resultados obtidos neste estudo podemos considerar que o melhor classificador foi o Ioseg, uma vez que apresentou uma classificação mais coerente com a verdade de campo e dispensa o conhecimento prévio da área por não necessitar de amostras de treinamento, tornando-se mais prático para ser utilizado. Um complicador para utilização deste algoritmo de classificação pode ser a obtenção da imagem segmentada, necessitando testar os diferentes limiares de segmentação que influenciam diretamente na classificação final.

Os classificadores que apresentaram o melhor desempenho para a área de estudo, discriminando os diferentes tipos de alvos, foram os que trabalham com imagens segmentadas. Dentre os dois classificadores que utilizam imagens segmentadas o classificador Ioseg pode ser considerado o mais fácil de ser utilizado por não necessitar de amostras de treinamento.

O procedimento de fusão da imagem possibilitou uma melhora na resolução espacial, auxiliando na distinção dos alvos e garantindo uma boa classificação, porém a confiabilidade espectral das imagens é imprescindível para garantir a qualidade da classificação.

5 . Referências Bibliográficas

Carvalho, M. **Mapeamento da Sensibilidade ao Impacto por Óleo de um Segmento da Costa entre os Estados do Rio Grande do Norte e Ceará Utilizando Imagens ETM+/Landsat-7 e Geoprocessamento**. 2003. 279 p. (INPE- 9876 TDI 872). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003.

Chavez, P.S, Jr. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459-479, 1988.

Restau – Image Restoration 0.0.15. São José dos Campos, SP: Fedorov, D.; Fonseca, L. M. G. © Divisão de Processamento de Imagens. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2002.