

Comparação entre imagens MODIS/TERRA e TM/LANDSAT para a detecção de mudanças na cobertura da terra

Eduarda Martiniano de Oliveira Silveira
Luis Marcelo Tavares de Carvalho
Fausto Weimar Acerbi Junior

Departamento de Ciências Florestais – DCF; Universidade Federal de Lavras – UFLA, Caixa Postal 3037 – 37.200-000 Lavras, MG – Brasil;

dudalvras@hotmail.com
{[@ufla.br">passarinho,fausto](mailto:passarinho,fausto)}@ufla.br

Abstract. This paper evaluated the performance of MODIS images with 250 m spatial resolution in comparison to Landsat images for the detection and monitoring of deforestation in the state of Minas Gerais, Brazil. The “à trous” wavelet algorithm and multiscale analysis were used in order to analyze vegetation changes over the years. The results showed that the MODIS sensor was not able to detect deforestation in areas smaller than 100 ha. However, considering areas larger than 100 ha both sensors were able to detect 43% of the changes. As a conclusion, an effective detection and monitoring system for the state of Minas Gerais should take in consideration both a moderate and fine spatial resolution sensors.

Palavras-chave: remote sensing, change detection, MODIS, Landsat.

1. Introdução

Entre 2003 e 2005 o desmatamento no estado de Minas Gerais aumentou significativamente com taxa de 1,2 % ao ano (Scolforo e Carvalho, 2006). Esta taxa foi estimada com imagens Landsat TM e ETM⁺ pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) juntamente com a SEMAD (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável) e IEF (Instituto Estadual de Florestas), através do Projeto Inventário da Flora Nativa e dos Reflorestamentos do Estado de Minas Gerais.

Contudo estes dados podem ser mais efetivos, visto que as estimativas são fornecidas um ou dois anos depois que as áreas foram desmatadas. Para superar o problema da baixa frequência de detecção de desmatamentos com imagens Landsat, o sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), que fornece imagens com resolução temporal de aproximadamente dois dias, se torna uma alternativa promissora.

Este sensor, configurado para fornecer dados sobre a dinâmica da biosfera terrestre (Justice et al., 1998), opera com 36 bandas espectrais, das quais sete são semelhantes às do sensor ETM⁺, fornecendo um recobrimento global e contínuo a cada dois dias, com resoluções espaciais variando de 250 a 1000m.

Uma característica importante em relação ao MODIS é a de que os dados, já corrigidos para efeitos atmosféricos (nuvens, aerossóis, etc.) e georeferenciados, são distribuídos gratuitamente na forma de diferentes produtos, entre os quais destacam-se os índices de vegetação NDVI (índice de vegetação da diferença normalizada) e EVI (índice de vegetação realçado), produzidos a cada 16 dias com resoluções de 250, 500 e 1000m.

Uma das desvantagens das imagens MODIS em relação às imagens Landsat é a sua menor resolução espacial, porém, a maioria das mudanças na cobertura terrestre ocorre numa escala próxima a 250 m (Townshend e Justice, 1988), o que torna estas imagens viáveis para o monitoramento da cobertura da terra.

Visando contribuir com o monitoramento dos desmatamentos no estado de Minas Gerais, este estudo teve como objetivos: i) avaliar a capacidade do sensor MODIS em detectar

diferentes classes de tamanho de desmatamento; e ii) comparar as estimativas de desmatamento obtidas com imagens MODIS e Landsat.

2. Metodologia

2.1 Área de Estudo

O estado de Minas Gerais apresenta uma área territorial de aproximadamente 586,6114 km², abrangendo uma grande variedade de formações, que é explicado por sua localização e extensão, condições geológicas, topográficas e climáticas. Esta situação propicia ao estado a ocorrência de três grandes biomas dos seis grandes grupos presentes em toda a federação (Ribeiro & Walter, 1998, Oliveira Filho & Ratter, 2002), sendo eles Caatinga, Cerrado e Floresta Atlântica (**Figura 01**).

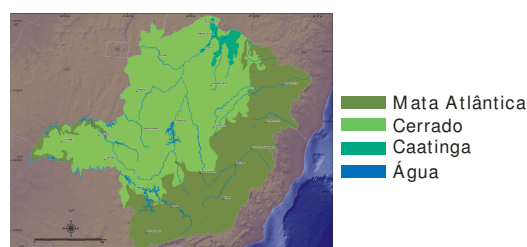


Figura 01. Biomas presentes na área de estudo.

De acordo com o mapeamento do estado de Minas Gerais realizado pelo governo do estado, Instituto Estadual de Florestas e Universidade Federal de Lavras, as formações existentes no estado são as Formações Florestais (Floresta Ombrófila, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual), Formações Savânicas (Campo Cerrado, Cerrado Sensu Stricto e Cerradão) e Formações Campestres (Campo e Campo rupestre). Além destas formações, o estado apresenta áreas de reflorestamentos, como Pinus e Eucalipto. A **Figura 02** apresenta a localização da flora nativa e dos reflorestamentos no estado.

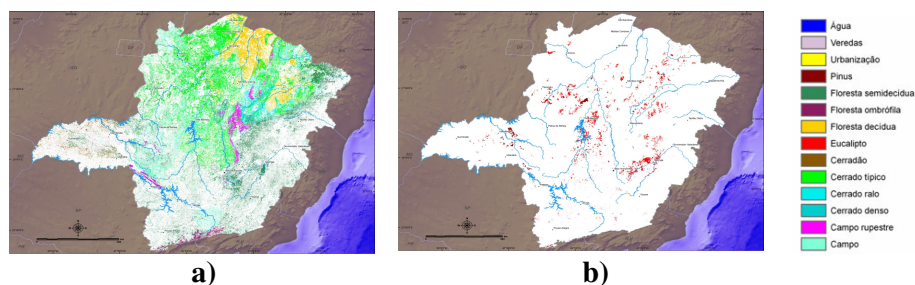


Figura 02. a) Flora Nativa e b) Reflorestamentos pertencentes ao estado de Minas Gerais.

2.2 Aquisição de imagens Landsat

Foram utilizadas imagens acerca de 2003 dos sensores TM e ETM+, que se encontram a bordo dos dois últimos satélites da série Landsat. As imagens foram adquiridas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a seleção das mesmas foi feita levando em consideração a qualidade das imagens e uma quantidade de nuvens mínima ou nula quando possível (**Tabela 01**).

Tabela 01. Relação das imagens do ano de 2003 utilizadas neste trabalho.

Cena	Primavera	Verão	Inverno	Cena	Primavera	Verão	Inverno
216-71	30/09/1999	30/03/1999	29/06/2003	219-71	13/10/2002	06/03/2003	18/06/2003
216-72	10/10/2003	30/03/1999	29/06/2003	219-72	13/10/2002	06/03/2003	18/06/2003
216-73	05/10/2001	13/02/2003	29/06/2003	219-73	13/10/2002	16/02/2004	18/06/2003
216-74	16/10/1999	13/02/2003	29/06/2003	219-74	13/10/2002	06/03/2003	18/06/2003
216-75	19/10/2003	15/02/2001	29/06/2003	219-75	13/10/2002	15/02/2002	18/06/2003
217-71	24/09/2003	12/02/2002	09/06/2002	219-76	13/10/2002	02/02/2003	25/05/2003
217-72	28/10/2001	02/12/2002	20/06/2003	220-70	22/10/2000	24/01/2003	11/07/2003
217-73	04/10/2001	18/03/2001	06/07/2003	220-71	23/11/2000	24/01/2003	11/07/2003
217-74	28/10/2001	18/03/2001	20/06/2003	220-72	23/11/2000	24/01/2003	27/07/2003
217-75	04/10/2001	29/01/2001	06/07/2003	220-73	20/10/2002	25/02/2003	16/07/2002
218-70	06/10/2002	10/01/2003	27/06/2003	220-74	20/10/2002	25/02/2003	16/07/2002
218-71	06/10/2002	10/01/2003	27/06/2003	220-75	20/10/2002	25/02/2003	16/07/2002
218-72	06/10/2002	10/01/2003	27/06/2003	221-71	24/10/2001	02/04/2002	16/06/2003
218-73	06/10/2002	11/02/2003	27/06/2003	221-73	11/10/2002	17/01/2001	16/06/2003
218-74	06/10/2002	17/03/2001	27/06/2003	221-74	11/10/2002	17/01/2001	16/06/2003
218-75	14/10/1999	11/02/2003	27/06/2003	222-73	10/10/1999	27/01/2002	30/05/2003
218-76	27/10/2001	11/02/2003	27/06/2003	222-74	02/10/2002	27/01/2002	30/05/2003
219-70	05/10/2001	13/02/2003	29/06/2003				

As imagens utilizadas neste trabalho foram adquiridas com correções geométricas e radiométricas padrão (nível de processamento 1G). Neste nível de correção, possíveis erros devido ao efeito do terreno são corrigidos utilizando um modelo digital de terreno e as imagens são registradas a um sistema de coordenadas.

As imagens foram georeferenciadas para a projeção cartográfica Albers Equal Área Conic (**Tabela 02**) e reamostradas para uma resolução espacial de 30 metros usando o algoritmo de interpolação bilinear.

Tabela 02. Parâmetros da projeção cartográfica utilizada.

Projeção:	Cônica Albers de Igual Área
Datum:	América do Sul 1969 (SAD-69)
Latitude do 1º Paralelo padrão:	5° 00' 00,0000" S
Latitude do 2º Paralelo padrão:	42° 00' 00,0000" S
Longitude do meridiano central:	60° 00' 00,0000" O
Latitude da origem da projeção:	32° 00' 00,0000" S
Falso leste no meridiano central:	0,0000000000 metros
Falso norte na origem da projeção:	0,0000000000 metros

Os algoritmos usados para correção modelam características relacionadas ao sensor, ao plano focal e ao alinhamento dos detectores, usando dados gerados por computadores de bordo durante o imageamento. Correções radiométricas incluem remoção de ruídos de sensibilidade dos detectores, calibração para unidades de radiância e posterior conversão para números digitais.

Os valores de reflectância nas imagens retificadas foram gerados usando interpolação bilinear. Com o intuito de padronizar as imagens minimizando o impacto da geometria de iluminação (Markham & Barker, 1986; Irish, 2000; Huang et al., 2002), os números digitais foram convertidos para radiância aparente e posteriormente para reflectância aparente usando parâmetros fornecidos pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

No processo de registro foram utilizados parâmetros como efemérides, altitude do satélite, dados sobre o sistema de imageamento do sensor e do modelo de referência da Terra para o georeferenciamento. Após todas as imagens estarem registradas e georeferenciadas ao sistema de coordenadas escolhido, foi realizado o mosaico do ano de 2003.

As imagens Landsat/TM do ano de 2005 adquiridas junto ao INPE (**Tabela 03**) foram georeferenciadas tomando como referência os produtos do banco de dados imagens GeocoverTM2000. Imagens com cobertura de nuvens foram substituídas por imagens livres ou parcialmente cobertas por nuvens. Durante o georeferenciamento foram coletados de 50 a 100 pontos de controle para ajustar modelos polinomiais de segundo grau. A projeção adotada foi

Albers Equal Área Conic. Os procedimentos adotados para conversão dos valores de brilho em valores de reflectância foram idênticos aos aplicados nas imagens de 2003.

Tabela 03. Relação das imagens do ano de 2005 utilizadas neste trabalho

Cena	Principal	Substituta	Cena	Principal	Substituta
216-71	3/9/2004	25/1/2005	219-70	26/8/2005	x
216-72	3/9/2005	25/1/2005	219-71	26/8/2005	x
216-73	3/9/2004	20/7/2005	219-72	26/8/2005	x
216-74	3/9/2004	x	219-73	9/7/2005	4/4/2004
216-75	3/9/2004	6/11/2004	219-74	9/7/2005	8/9/2004
217-71	15/10/2005	x	219-75	24/9/2005	x
217-72	15/10/2005	x	219-76	9/7/2005	x
217-73	24/7/2004	15/10/2005	220-70	1/8/2005	x
217-74	22/6/2004	24/7/2004	220-71	1/8/2005	x
217-75	28/8/2005	15/10/2005	220-72	1/8/2005	x
218-70	18/7/2005	20/9/2005	220-73	1/8/2005	11/4/2005
218-71	6/10/2005	7/11/2005	220-74	8/1/2005	11/4/2005
218-72	18/7/2005	x	220-75	8/1/2005	x
218-73	18/10/2005	x	221-71	8/8/2005	x
218-74	31/7/2004	12/3/2005	221-73	23/7/2005	x
218-75	3/8/2005	x	221-74	9/9/2005	x
218-76	3/8/2005	x	222-73	14/7/2005	x
			222-74	15/8/2005	30/7/2005

2.3 Aquisição de imagens MODIS

Foram adquiridas imagens do produto MOD13 - Índices de Vegetação com resolução espacial de 250 metros, referentes aos anos de 2003 e 2005 (**Tabela 04**).

Tabela 04. Imagens MODIS adquiridas

Número	Dias Julianos	2003	2005
1	1	2/jan	2/jan
2	17	16/jan	16/jan
3	33	28/jan	28/jan
4	49	19/fev	19/fev
5	65	6/mar	6/mar
6	81	22/mar	22/mar
7	97	7/abr	7/abr
8	113	23/abr	23/abr
9	129	9/mai	9/mai
10	145	25/mai	25/mai
11	161	10/jun	10/jun
12	177	26/jun	26/jun
13	193	12/jul	12/jul
14	209	28/jul	28/jul
15	225	12/ago	12/ago
16	241	29/ago	29/ago
17	257	14/set	14/set
18	273	30/set	30/set
19	289	16/out	16/out
20	305	1/nov	1/nov
21	321	17/nov	17/nov
22	337	3/dez	3/dez
23	353	19/dez	19/dez

Os produtos MODIS foram disponibilizados de acordo com uma grade determinada pelos planos horizontal e vertical, denominados *Tiles*. Este produto inclui as imagens índices de vegetação NDVI e EVI, e as imagens reflectância de superfície das bandas do azul, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio.

Os dados MODIS disponibilizados no formato HDF com resolução radiométrica de 12 bits, na projeção Sinusoidal foram reprojatados para Albers Equal Área Conic. O tipo de reamostragem foi Bilinear, o datum South American 1969 e extensão da imagem de saída *.tif.

2.4 Aplicação do algoritmo de detecção de mudanças

Para a aplicação do algoritmo, os índices de vegetação (NDVI) foram calculados para o conjunto de imagens Landsat. As imagens resultantes foram comparadas pixel a pixel por subtração dos valores de NDVI, gerando uma imagem diferença. Nesta imagem, os valores próximos de zero indicam áreas onde não ocorreram mudanças na cobertura da terra. Valores positivos indicam áreas onde houve diminuição de cobertura vegetal e valores negativos indicam áreas onde houve um crescimento expressivo da cobertura.

O método adotado foi o desenvolvido por Carvalho (2001), onde a detecção de pontos de modificações é realizada com o auxílio da transformada de ondaletas em múltiplas escalas através do algoritmo conhecido como “à trous”. Neste produto foram procurados pontos de máxima ou picos de valor mais alto que os seus vizinhos imediatos.

A partir dos pontos detectados, algoritmos de segmentação baseados em crescimento de regiões foram executados nas imagens diferenças para delimitar as áreas que sofreram modificações na cobertura vegetal. Este algoritmo avaliou sucessivamente os pixels conexos aos pontos de máxima para determinar se os mesmos deveriam ser considerados modificações.

Os limiares de modificações foram definidos estatisticamente a partir do desvio padrão do conjunto de nove pixels vizinhos do ponto de máxima detectado. Através de interpretação de imagens, para cada ponto detectado, foram definidos os limites das regiões segmentadas. A **Figura 03** ilustra a metodologia adotada.

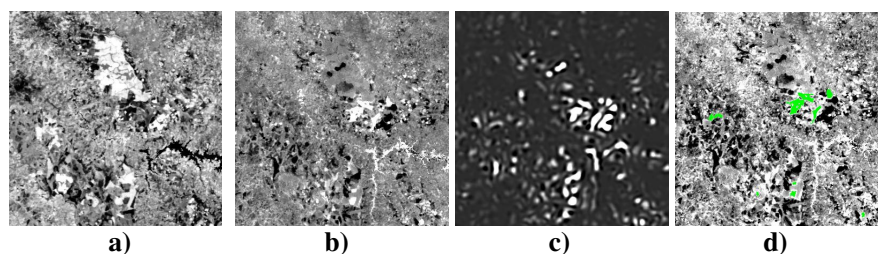


Figura 03. a) Imagem NDVI; b) Imagem Diferença NDVI 2005/NDVI 2003; c) Imagem para detecção de pontos; d) Segmentação, respectivamente.

2.5 Comparação MODIS-Landsat

Quatro classes de tamanho de desmatamento foram consideradas para a análise: < 03 ha; 03 – 100 ha; 100 – 1000 ha e > 1000 ha. Essas classes de tamanho são utilizadas pelos órgãos governamentais de fiscalização e controle para a concessão de autorização de desmatamento, definidas na Instrução Normativa N°3 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA (IBAMA, 2004).

Para cada classe de tamanho, foram computados os polígonos de mudanças gerados a partir das imagens diferenças para os sensores TM/ETM+ e MODIS. Estes foram sobrepostos

para avaliar se os desmatamentos detectados na imagem Landsat foram detectados nas imagens MODIS. Após este passo, os centróides dos polígonos detectados pelo satélite Landsat foram sobrepostos às imagens MODIS do ano de 2003 e 2005 para avaliar se os desmatamentos que foram identificados nas imagens Landsat e não foram identificados nas imagens MODIS, poderiam ser visualizados por este sensor.

3. Resultados e Discussão

Nas classes de desmatamentos < 3 ha e de 3 – 100 ha, o Landsat detectou 379 e 4889 áreas, respectivamente, enquanto o MODIS não detectou nenhuma. Na classe de 100 – 1000 ha, o Landsat detectou 337 áreas e o MODIS 112. Na classe acima de 1000 ha, o MODIS detectou 38 áreas desmatadas enquanto o Landsat detectou apenas 05 áreas (**Figuras 04 e 05**).

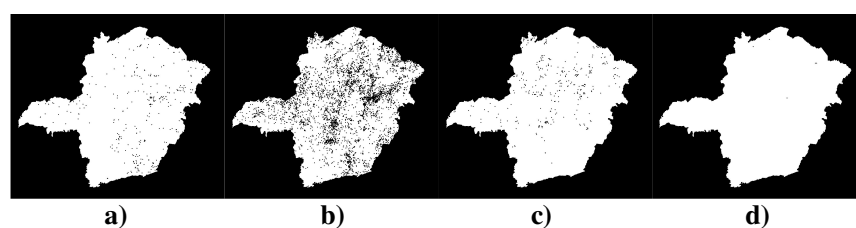


Figura 04. Centróides do polígonos identificados pelo Landsat, nas classes de tamanho: a) < 3 ha; b) 3 – 100 ha; c) 100 – 1000 ha; d) > 1000 ha.

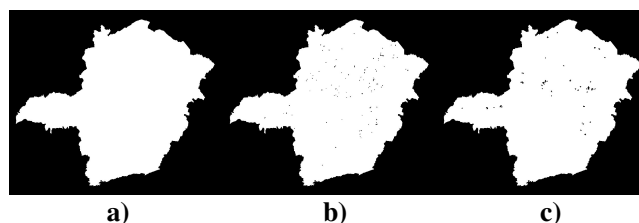


Figura 05. Polígonos de mudanças identificados pelo MODIS, nas classes de tamanho: a) 3 – 100 ha; b) 100 – 1000 ha; c) > 1000 ha.

O MODIS não detectou desmatamentos menores que 100 ha. Apenas 32 % dos desmatamentos com classe de tamanho entre 100 e 1000 ha detectados pelo Landsat foram detectados pelo MODIS. Para a classe de tamanho acima de 1000 ha, 13 % dos desmatamentos detectados pelo MODIS foram detectados pelo Landsat; Considerando as áreas acima de 100 ha, 43 % dos desmatamentos foram detectados pelos dois sensores. As mudanças detectadas apenas pelo Landsat, quando sobrepostas nas imagens MODIS puderam ser identificadas, porém, o algoritmo adotado não foi eficiente para detectá-la. Este fato pode ter ocorrido em função do erro de interpretação de imagens, onde o analista, além de definir os limiares de modificação estatisticamente, define se os pontos de máxima detectados são considerados modificações.

4. Considerações Finais

A análise comparativa entre imagens Landsat e MODIS, para o estado de Minas Gerais, revelou que as imagens MODIS, com resolução de 250m, são úteis para detectar e monitorar o avanço do desmatamento no estado. As estimativas de área com imagens MODIS são mais próximas daquelas obtidas com Landsat para áreas maiores que 100 ha, em função da moderada resolução espacial deste sensor.

Estudos utilizando estes dois sensores devem ser realizados, visto que o Landsat possui uma resolução espacial adequada para detectar mudanças entre 3 e 1000 ha, porém apresenta uma resolução temporal indesejada quando se trabalha com grandes áreas, diminuindo a disponibilidade de imagens sem cobertura de nuvens. O sensor MODIS possui uma resolução espacial que impossibilita a detecção de desmatamentos em pequena escala, porém apresenta uma resolução temporal elevada. Desta forma, o sensor MODIS pode ser utilizado para realizar a detecção de mudanças em um primeiro nível, onde o objetivo é a detecção de desmatamentos em grande escala. Nas áreas próximas a estes desmatamentos, quando o interesse for identificar áreas menores, recomenda-se a utilização de imagens Landsat.

5. Referências Bibliográficas

- Carvalho, L. M. T. **Mapping and monitoring forest remnants: a multiscale analysis of spatio-temporal data**. 2001. 150 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Wageningen University, Wageningen, The Netherlands. 2001.
- Huang, C., Wylie, B., Homer, C., Yang, L., Zylstra, G. Derivation of a Tasseled Cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 8, p. 1741-1748, 2002.
- Ibama (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) – **Instrução Normativa N^o 02**, de 04.03.02, publicada em 03.03.02, sobre conversão para uso do solo (reedição da IN 003, de 10.05.01, publicada em 14.05.01). Ibama – SCEN Trecho 2 – Ed. Sede. Brasília – DF. 2004.
- Irish, R. R. Landsat 7 science data user's handbook. 2000. (Report 430-15-01-003-0) – **National Aeronautics and Space Administration**. 2000.
- Justice, C. O.; Vermote, E.; Townshend, R. D.; Roy, D. P.; Hall, D. K.; Salomonson, V. V.; Privette, J. L.; Riggs, G.; Strahler, A.; Lucht, W.; Myneni, R. B.; Knyazikhin, Y.; Running, S. W.; Nemani, R. R.; Wan, Z.; Huete, A. R.; van Leeuwen, W. J. D.; Wolfe, R. E.; Giglio, L.; Muller, J.; Lewis, P.; Barnsley, M. J. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 36(4), p. 1-22, 1988.
- Markham, B. L., Barker, J. L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures, **EOSAT Landsat Technical Notes**, v. 1, p. 3-8, 1986.
- Oliveira Filho, A. T.; Ratter, J. A. Vegetation physiognomies and woody flora of the cerrado biome. In: Oliveira, P. S.; Marquis, R. J. (Org.) **The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical**. New York: Columbia University Press, 2002. p. 91-114.
- Ribeiro, J. F.; Walter, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S.; Almeida, S. P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. p. 89-169
- Scolforo, J.R.; Carvalho, L.M.T. **Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais**. Lavras, UFLA, 2006.
- Townshend, J. R. G., & Justice, C. O. Selecting the spatial resolution of satellite sensors required for global monitoring of land transformations. **International Journal of Remote Sensing**, 9, 187– 236 ,1998.