

Avaliação de quatro métodos de uniformização radiométrica visando à generalização temporal de classificadores supervisionados

Sinara Zoppelar Sales Costa¹
Paulo Ricardo Correa Caixeta¹
José Marinaldo Gleriani²
Vicente Paulo Soares²

¹ Curso de Engenharia Ambiental - Universidade Federal de Viçosa - UFV
36570-000 - Viçosa - MG, Brasil
{paulo.caixeta, sinara.costa}@ufv.br

² Depto Engenharia Florestal - Universidade Federal de Viçosa - UFV
36570-000 - Viçosa - MG, Brasil
{gleriani, soares}@ufv.br

Abstract. The conventional classification uses sample of training data in a single multispectral scene as well as the capability of spatial generalization of the classifier in the same scene (single-date). New approaches such as the utilization of multiple scenes (spectral-temporal) or the temporal distance of the training/test data have been explored in the literature. In this study, they were used the methods DOS (Dark Object Subtraction) 1, 2 and 3 and the radiometric rectification based on pseudo-invariant targets, to uniformize two TM/Landsat-5 scenes and to test the temporal generalization of the classifier MaxVer. Z statistical procedures were performed showing that all classifications presented significant decrease in the values of kappa (k) index, besides showing that the temporal distance of training/test data produces results inferior to the use of training data in the same temporal domain (single scene).

Palavras-chaves: DOS (Dark Object Subtraction), remote sensing, radiometric rectification, DOS (Subtração do Objeto Escuro), sensoriamento remoto, retificação radiométrica,

1.Introdução

Desde 1972 com o lançamento do primeiro satélite da série Landsat, dados orbitais têm sido de grande utilidade multidisciplinar para o monitoramento contínuo da superfície Terrestre. As resoluções radiométrica do MODIS (12 bits) (Justice et al, 1998), espacial do Worldview-1 (0,40 m) e espectral do Hyperion (220 canais) (Chuvieco e Huete), fazem refletir a grande evolução da observação espacial quando comparado aos dados MSS/Landsat.

Extrair informação desses dados tem demandado grandes esforços da comunidade científica. A interpretação visual tem seu espaço definido com algumas vantagens sobre a classificação digital, principalmente pela análise de todos os elementos (cor, textura, forma, associação, localização relativa, etc) e alcançar, com experientes fotointérpretes, inferências de alto grau sobre o uso do solo (Campbell, 1996; Trotter, 1991). Os classificadores automáticos supervisionados, paramétricos ou não, também tem o seu uso de generalização (espacial) bem explorado, porém, nos últimos anos têm sido utilizados, testando-se a sua capacidade de generalização, em condições mais extremas, principalmente temporal (Pax-Lenney et al, 2001). O conceito de generalização temporal não é novo: durante o CITARS (“*Crop Identification Technology Assessment for Remote Sensing*”) a generalização no tempo foi executada com quedas na exatidão de 22% para a classe “soja” e 23% para a classe “milho” (Myers, 1983). As generalizações já foram testadas de várias maneiras: espaciais e temporais com as classes coníferas e não coníferas (Pax-Lenney et al., 2001); espaciais, temporais e entre diferentes sensores (TM/ETM+) com as classes “mudança” e “não mudança” (Woodcock et al, 2001) com relativo sucesso.

Pax-Lenney et al (2001) e Woodcock et al (2001) utilizaram o termo generalização da assinatura (“*signature generalization*”) para se referir ao distanciamento (região, órbita/ponto, data, sensor) entre os dados de treinamento/teste. Olthof et al (2005) e Laborte et al, (2009), utilizaram o termo – generalização - quando o distanciamento dos dados de treinamento/teste é explorado de dados de treinamento multitemporal, para dados de teste de domínios temporais e espaciais diferentes. Para o distanciamento de dados de treinamento/teste no mesmo ano, explorando diferentes estações (e variação fenológica), os autores utilizam o termo - extensão da assinatura (“*signature extension*”). Todos os autores são claros quanto ao uso do classificador supervisionado, porém, na literatura, Hall e Badhwar (1987) utilizam o termo - assinatura prorrogável (“*signature-extendable*”) - ao se referirem à classificação não supervisionada com perfis temporais do índice *greenness* derivado da transformação temporal Tasseled Cap (Kauth e Thomas, 1976).

Independente do termo utilizado, a distância entre extensão da assinatura (“*signature extension*”) é dependente, e exige esforços, para consistência radiométrica do conjunto de imagens a serem utilizadas (Pax-Lenney et al, 2001; Olthof et al, 2005; Knorn et al, 2009). A questão explorada nos últimos anos é: “quão distante e, em qual domínio (sensores), podem as “assinaturas características” serem testadas dos dados de treinamento” (Pax-Lenney et al., 2001). Pax-Lenney et al (2001) utilizaram quatro procedimentos baseado na subtração do pixel escuro DOS (*Dark Object Subtration*) e suas variantes além do modelo 6S. Olthof et al (2005) utilizaram o método de vegetação densa e escura (*Dense Dark Vegetation*) modificado do proposto por Liang et al (2001).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a generalização temporal do classificador MaxVer para uma região tropical, utilizando como modelos de uniformização radiométrica o método DOS e suas variantes além da retificação radiométrica de Hall et al. (1991).

2. Metodologia

A área de estudo (Figura 1) está situada no Estado do Espírito Santo, no retângulo formado pelo vértice inferior esquerdo de coordenadas $40^{\circ}16'46''$ de longitude Oeste e $19^{\circ}25'27''$ de latitude Sul, e o vértice superior direito de coordenadas $39^{\circ}33'43''$ de longitude Oeste e $18^{\circ}20'19''$ de latitude Sul, no município de Sooretama. Na área localiza-se a reserva de Mata Atlântica de Sooretama. Entre as atividades econômicas encontra-se o reflorestamento com eucalipto e, em menor escala, agricultura.

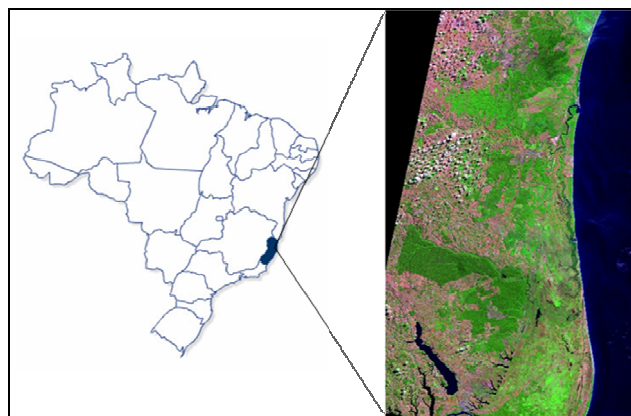


Figura 1 – Localização da área de estudo

As imagens foram georreferenciadas com RMSE menor que 0,5 pixel (UTM/WGS-84) utilizando-se como base cartográfica uma cena do portal *Land Cover Facility*. As cenas (215/73) do sensor TM/Landsat-5 datadas de 02/06/1996 e 05/08/1996 foram obtidas no portal da DGI/INPE.

Para uniformização radiométrica, executou-se o modelo DOS (*Dark Object Subtraction*) e suas variantes, descritos nas equações seguintes:

$$\rho = \frac{\pi d^2 (L_{\text{sat}} - L_{\text{haze}})}{T_v (E_0 (\cos \theta_z) T_z)} \quad (1)$$

Sendo ρ a reflectância, d a distância Terra-Sol em unidades astronômicas, L_{sat} a radiância bruta no sensor, L_{haze} a radiância devida ao espalhamento atmosférico, T_z a transmitância ao longo do trajeto Sol-alvo, T_v a transmitância no trajeto sensor-alvo, E_0 a irradiância espectral e θ_z o ângulo zenital solar (Song et al, 2001).

$$L_{\text{sat}} = \text{ganhoDN} + \text{offset} \quad (2)$$

DN é o valor digital e os parâmetros de ganho e *offset* estão definidos em (Chander e Markan, 2003) e, considerando-se 1% de reflectância para o alvo escuro (Chavez, 1996) tem-se:

$$L_{\text{haze}} = L_{\text{min}} - L_{0,01} \quad (3)$$

$$L_{\text{haze}} = \text{ganhoDN}_{\text{min}} + \text{offset} \quad (4)$$

Em que DN_{min} é o mínimo valor digital obtido canal a canal (Chavez, 1996)

$$L_{0,01} = \frac{0,01 \cos \theta_z T_v E_0}{\pi d^2} \quad (5)$$

Os modelos DOS 1, 2 e 3 diferenciam-se pelos valores assumidos para as transmitâncias T_v e T_z (Song et al., 2001, Pax-Lenney et al, 2001). Para o DOS 1 e 2, a T_v é um. O mesmo valor assume-se para T_z no DOS 1, porém no DOS 2 o valor de T_z é dado por $\cos(\theta_z)$. Para o modelo DOS 3, os valores de T_v e T_z são dados por $e^{-\tau_r / \cos \theta_z}$ e $e^{-\tau_r / \cos \theta_v}$, respectivamente, assumindo o espalhamento de Rayleigh, e ausência de aerossol. O parâmetro $\cos(\theta_v)$ é igual a um para visada a nadir. O parâmetro τ_r , espessura óptica, é dado por (6):

$$\tau_r = 0,008569 \lambda^{-4} (1 + 0,0113 \lambda^{-2} + 0,00013 \lambda^{-4}) \quad (6)$$

Em que λ é o comprimento de onda central da banda.

Utilizando a imagem do dia 02/06/1996 como referência, fez-se a retificação radiométrica (Hall et al., 1991) das cenas utilizando como alvos de “amarração radiométrica” – areia e água limpa e profunda. Para banda espectral $T(i)$, a transformação linear é dada pela equação $T(i) = m_i x_i + b_i$, onde x_i é a banda a ser retificada e m_i e b_i são dados pelas equações :

$$m_i = (B_{Ri} - D_{Ri}) / (B_{Si} - D_{Ri}) \quad (7)$$

$$b_i = (D_{Ri}B_{Si} - D_{Si}B_{Ri}) / (B_{Si} - D_{Si}) \quad (8)$$

Sendo D_{Si} , D_{Ri} , B_{Si} , B_{Ri} as médias para as áreas pseudo-invariantes escuras (D) e claras (B) para as imagens a serem retificadas (S) e para as imagens de referência (R).

Depois de submeter as cenas a esses modelos, executou-se as classificações supervisionadas com o algoritmo MaxVer, utilizando-se sempre os mesmos locais de amostragem de treinamento e avaliação da exatidão. As classificações foram executadas de duas maneiras: A) dados de treinamento/teste da imagem de 02/06 *versus* dados de treinamento 02/06 com teste na imagem de 05/08; B) dados de treinamento da imagem de 05/08 e teste da imagem 05/08 *versus* dados de treinamento de 02/06 e teste na imagem de 05/08, como ilustrado na Figura (2).

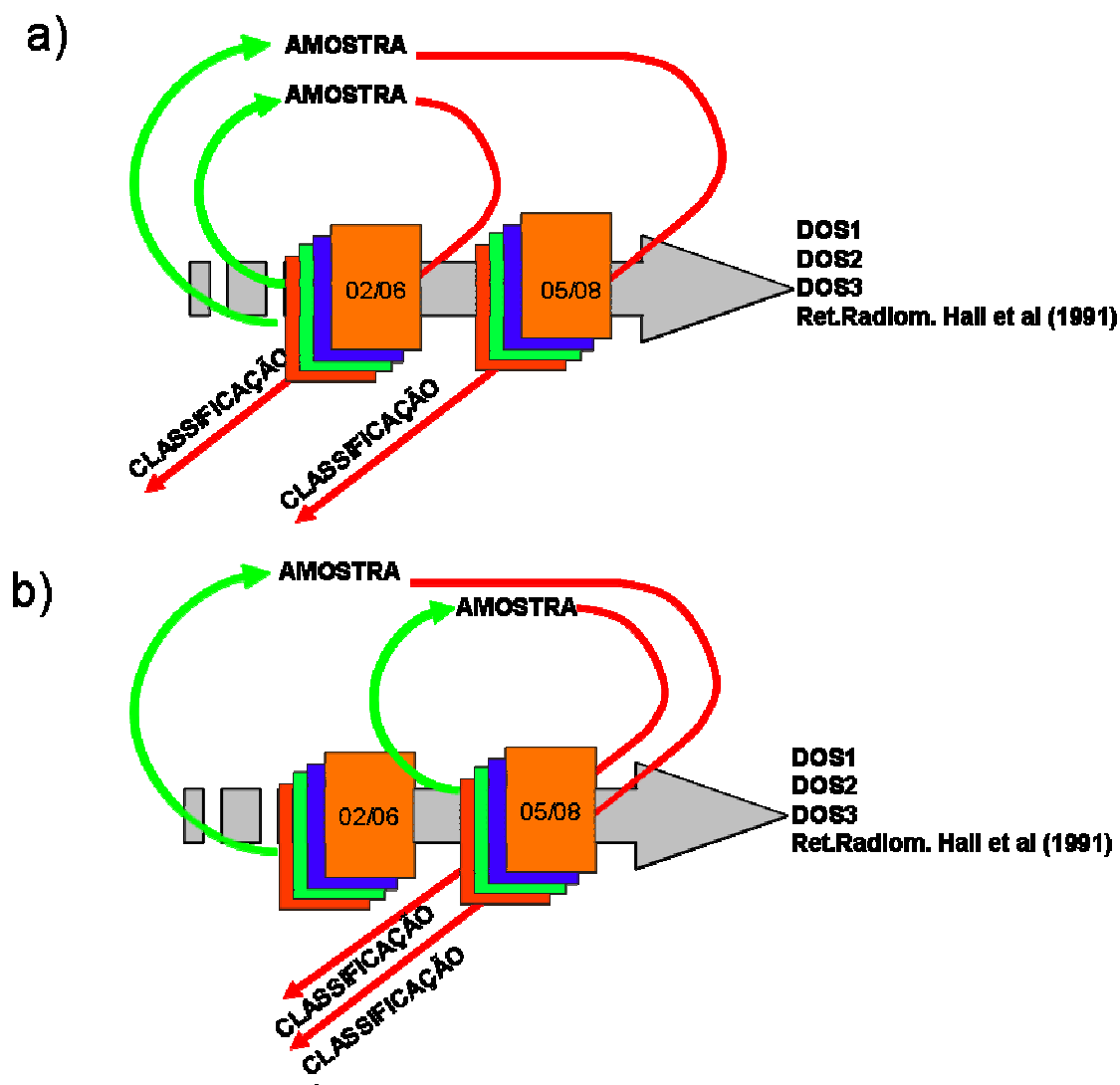


Figura 2 – Fluxograma das atividades

Após a classificação gerou-se a matriz de contingência para as classes, Mata Exótica, Mata Nativa, Água, e outros (Área agrícola/Solo Exposto/Nuvens/sombra/ etc), com imagem

de 90 pontos de referência por classe. Gerou-se o índice Kappa (\hat{k}) e a variância ($\text{var}(\hat{k})$) correspondente assim como a estatística Z, para verificar a significância ou não dos métodos na uniformização radiométrica.

O teste Z padronizado e normalmente distribuído é dado por (9) e (10):

$$Z = \frac{|\hat{k}_{1[\text{tre}-\text{tes}02/06]} - \hat{k}_{2[\text{tre}02/06-\text{tes}05/08]}|}{\sqrt{\hat{\text{var}}(\hat{k}_{1[\text{tre}-\text{tes}02/06]}) + \hat{\text{var}}(\hat{k}_{2[\text{tre}02/06-\text{tes}05/08]})}} \quad (9)$$

$$Z = \frac{|\hat{k}_{1[\text{tre}05/08-\text{tes}05/08]} - \hat{k}_{2[\text{tre}02/06-\text{tes}05/08]}|}{\sqrt{\hat{\text{var}}(\hat{k}_{1[\text{tre}05/08-\text{tes}05/08]}) + \hat{\text{var}}(\hat{k}_{2[\text{tre}02/06-\text{tes}05/08]})}} \quad (10)$$

Em que os subscritos – “tre” e “tes” significam treinamento e teste, respectivamente.

Em seguida, foram realizados os testes de hipóteses em que se verificou se não houve queda significativa na classificação e o método de retificação teve sucesso para aplicação da generalização espacial - hipótese $H_0 : (\hat{k}_1 - \hat{k}_2) = 0$, contra a hipótese alternativa H_1 , existe diferença significativa e o método de uniformização radiométrica falhou e a generalização temporal não teve sucesso $H_1 : (\hat{k}_1 - \hat{k}_2) \neq 0$.

3. Resultados e Discussões

Como descrito, a generalização temporal (e também espacial) dos classificadores têm sido pouco testadas, principalmente em regiões tropicais. Procurar formas de uniformizar radiometricamente as imagens são passos indispensáveis para tal método. Nesse trabalho testou-se o distanciamento de apenas dois meses entre os dados de treinamento/teste. O distanciamento maior não foi executado devido à dificuldade de encontrar imagens livres de nuvens ou, uma vez encontrando, haveria uma distância temporal muito grande e a generalização não seria viável pelo rápido crescimento do eucalipto e a falta de consistência fenológica para o método. Pelo proposto por Olthof et al (2005) e Laborte et al, (2009) o termo correto de uso seria expansão da assinatura, já que envolve o distanciamento no mesmo ano para diferentes estações (outono/inverno). No entanto, pelo enfoque mais florestal, consideram-se os alvos “estáticos” quanto à variação fonológica e o termo utilizado aqui é generalização.

A Tabela 1 ilustra que a diferença da exatidão de classificação para a primeira análise (A) foi significativa para todos os quatro métodos analisados, ou seja, a generalização temporal utilizando amostras de 02/06 para classificar a imagem 05/08 trouxe queda e nenhum dos métodos conseguiu uniformizar radiometricamente as imagens. O modelo DOS2 teve um melhor desempenho ($\text{kappa}=0,723$) mas, mesmo assim com queda significativa na exatidão.

Na Tabela 2, que ilustra a análise (B), dados de treinamento/teste da imagem de 05/08 *versus* dados de treinamento da imagem de 02/06 e teste da imagem 05/08. Apenas houve confirmação do resultado anteriormente observado. Nenhum dos quatro métodos conseguiu manter a exatidão aonde os dados de treinamento/teste são da mesma cena e, novamente, o modelo DOS2, apresentou o melhor desempenho.

TABELA 1 – Valores de kappa e a respectiva variância, assim como os valores de Z e as significâncias para a análise (A):- dados de treinamento/teste da imagem de 02/06 *versus* dados de treinamento de 02/06 e teste de 05/08.

MÉTODO	ANÁLISE A				ANÁLISE	
	trein0206-teste0206		trein0206/teste0508		Z	p
	k	var (k)	k	var (k)		
ORIGINAL	0,8053	0,0006198	0,6116	0,0009273	4,92	4,22E-07**
RETIF RADIOM.	0,8053	0,0006198	0,6151	0,0009217	4,84	6,35E-07**
DOS1	0,8091	0,0006097	0,6895	0,0008381	3,14	8,35E-04**
DOS2	0,8315	0,0005484	0,723	0,000777	2,98	1,43E-03**
DOS3	0,8053	0,0006196	0,6933	0,0008399	2,93	1,68E-03**

NS – Não significativo, * p<0,05, **p<0,01

TABELA 2 – Valores de kappa e a respectiva variância, assim como os valores de Z e as significâncias para a análise (B):- dados de treinamento/teste da imagem de 05/08 *versus* dados de treinamento de 02/06 e teste da imagem de 05/08.

MÉTODO	ANÁLISE B				ANÁLISE	
	trein0508-teste0508		trein0206/teste0508		Z	p
	k	var (k)	k	var (k)		
ORIGINAL	0,7791	0,0006864	0,6116	0,0009273	5,72	5,19E-09**
RETIF RADIOM.	0,7791	0,0006864	0,6151	0,0009217	4,84	6,35E-07**
DOS1	0,7604	0,0007318	0,6895	0,0008381	3,81	6,85E-05**
DOS2	0,7679	0,0007133	0,723	0,000777	2,98	0,00144**
DOS3	0,7679	0,0007125	0,6933	0,0008399	3,70	0,000104**

NS – Não significativo, * p<0,05, **p<0,01

Do observado na literatura, Pax-Lenney et al (2001) conseguiram com a utilização do classificador neural Fuzzy ARTMAP, sucesso na generalização temporal. Os autores também concluíram que o método de uniformização DOS1 produziu resultados similares a modelos complexos de transferência radiativa como o 6S. Após essa conclusão, Woodcock et al (2001) também utilizaram o DOS1 e estenderam a generalização para diferentes sensores (TM/ETM+), combinados com a generalização tempo/espaço

Com resultados opostos, Olthof et al (2005) observaram queda de aproximadamente 50% na exatidão na generalização, utilizando os métodos DDV e o produto reflectância de superfície VGT (*SPOT Vegetation*) para uniformização radiométrica. Deve-se ressaltar que a distância entre treinamento/teste aproximou de 2000 km (órbita/ponto 18/22 →52/10), muito superiores as cenas vizinhas utilizadas por Pax-Lenney et al (2001) e Woodcock et al (2001), além do que, número classes oscilou entre 2 e 15 e não apenas coníferas/não coníferas ou mudança/não mudança utilizados Pax-Lenney et al (2001) e Woodcok et al (2001), respectivamente. No presente trabalho, a generalização ocorreu na mesma cena com

distanciamento temporal de dois meses, com legenda mais ambiciosa que Pax-Lenney et al (2001) e Woodcok et al (2001), porém inferior a Olthof et al (2005). Com quatro classes Laborte et al.(2010) também verificaram queda na exatidão que oscilou de 30% para dados de teste posteriores ao treinamento a 60% para dados de teste anteriores aos de treinamento.

4. Conclusões

O presente trabalho avaliou quatro maneiras de uniformizar radiometricamente cenas do sensor TM/Landsat-5 visando a generalização temporal, e não apenas espacial do classificador MaxVer. Todos os quatro métodos analisados, não produziram uniformização que impedissem a queda na exatidão de classificação.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio FAPEMIG

Referências Bibliográficas

- Campbell, J. B. **Introduction to Remote Sensing**, New York, NY, The Guilford Press, 2 ed, 1996. 662p.
- Chander, G.; Markham, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.41, n.11, p.2674-2677, 2003.
- Chavez Jr., P.S. Image-based atmospheric corrections - revisited and improved. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.62, n.5, p.1025-1036, 1996.
- Chuvieco, E; Huete, A. **Fundamentals of Satellite Remote Sensing**. Boca Raton, FL, CRC Press, 2010, 436p.
- Hall, F.G.; Strelbel, D.E.; Nickeson, J.E.; Goetz, S.J. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multistate, multisensor images. **Remote Sensing of Environment**, v.35, n.1, p.11-27, 1991.
- Hall, F.G.; Hadjwar, G.D. Signature-extendable technology: Global space-based crop recognition. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.25, n.1, p.93-103, 1987.
- Justice, C. O; Vermote, E.; Townshend, J R G et al. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land Remote Sensing for Global Change Research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.36, n.4, p.1228-1249, 1998.
- Kauth, R. J.; Thomas, G. S. The tasseled cap – a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen in Landsat. **In: Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data**. West Lafayette, jun, 1976. *Proceedings*. West Lafayette, Indiana, 1976, p.41-51.
- Knor, J.; Rabe, A.; Radeloff, V.C.; Kuemmerle, T. Kozak, J.; Hostert, P. Land cover mapping of large areas using chain classification of neighboring Landsat satellite images. **Remote Sensing of Environment**, v.113, n.2, p.957-964, 2009.
- Liang, S; Fang, H.; Chen, H. Atmospheric correction of Landsat ETM+ land surface imagery: Part 1. Methods. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.39, n 11, p.2490-2498, 2001.
- Myers, V.L. Remote Sensing Applications in Agriculture. In: Colwell, J.E.; Colwell, R.N. (Org.). **Manual of Remote Sensing**. Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry, 1983. p.2111-2228.
- Olthof, I.; Butson, C.; Fraser, R. Signature extension through space for northern landcover classification: a comparison of radiometric correction methods. **Remote Sensing of Environment**, v.95, n.2, p.290-302, 2005.
- Pax-Lenney, M.; Woodcock,C.E.; Macomber, S.A.; Gopal, S.; Song, C. Forest mapping with a generalized classifier and Landsat TM data. **Remote Sensing of Environment**, v.77, n.3, p.241-250, Sep. 2001.
- Laborte, A.G.; Maunahan, A.A.; Hijmans, R.J. Spectral signature generalization and expansion can improve the accuracy of satellite image classification. **Plos One**.v.5, n.5, p.1-9, 2010.
- Trotter; C.M. Remotely-sensed data as an information source for geographical information systems in natural resource management: a review. **International Journal of Geographical Information Systems**. v.5, n.2, p.225-239, 1991.
- Tucker, C.J.; Grandt, D.M.; Dykstra, J.D. NASA's global orthorectified Landsat data set. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.70, n.3, p.313-322, 2004
- Woodcock, C.E.; Macomber, S.A.; Pax-Lenney, M.; Cohen, W. B. Monitoring large areas for forest change using Landsat: Generalization across space, time and Landsat sensors. **Remote Sensing of Environment**, v.78, n.2, p.194-203, 2001.