

Uso de Radar de Abertura Sintética e Índices de Vegetação para Discriminação de Alvos no Bioma Cerrado

Antonio Felipe Couto Junior¹

Paulo Roberto Meneses¹

Edson Eyji Sano²

¹ Universidade de Brasília – UnB

Campus Universitário Darcy Ribeiro – Asa Norte CEP: 70910-900 Brasília, DF

E-mail: antoniofelipejr@gmail.com; pmeneses@unb.br

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

BR-020 km 18 Caixa Postal 08223 CEP: 73301-970 Planaltina, DF

E-mail: sano@cpac.embrapa.br

Abstract. This work aimed to evaluate the differences and complementarities between the Phased Array type L-band Synthetic Aperture (PALSAR) and the vegetation indices derived from the Landsat 7-ETM imagery to discriminate land cover in the Cerrado biome. The ALOS-PALSAR digital numbers were converted into backscattering coefficients (σ^0 ; units = dB) and resampled to 30 meter spatial resolution to match with spatial resolution of Landsat data. Two vegetation indices (NDVI and EVI) were generated after the MODTRAN-based atmospheric correction. For the discrimination assessment, the Tukey test and the Analysis of Variance (ANOVA) were applied with significance level of 0.05. Samples were collected from two different land cover types: 1) natural vegetation (forestlands, shrublands and grasslands); 2) antropic vegetation (croplands, consolidated urban areas, unconsolidated urban areas and reforestations). L-band SAR images with HH, HV and VV polarizations showed low correlations with the vegetation indices. The ANOVA showed that the HH and VV exhibited the lower F values and the Tukey test evidenced that the vegetation indices were more efficient in the discrimination. The two sensors seemed to be complementary for land cover discrimination in the Cerrado. In this way, for further studies in this biome it is important to consider the following combinations: HV+NDVI, VV+EVI and HH+NDVI.

1. Introdução

O sensoriamento remoto óptico tem dominado a maioria dos estudos que estimam parâmetros biofísicos da vegetação como índice de área foliar, biomassa vegetal, produtividade e atividade fotossintética e que subsidiam o monitoramento da cobertura vegetal (Justice & Townshed, 2002; Yu et al., 2003; Sano et al., 2005). Por outro lado, este tipo de dados apresenta limitações para evidenciar alguns tipos de vegetação como as do Cerrado (Sano et al., 2005), além de ser dependente de condições atmosféricas favoráveis.

Uma alternativa para estas limitações é o uso de sensores que operam na região espectral das microondas, como é o caso dos radares de abertura sintética (SAR, em inglês) (Moran et al., 2002; Sano et al., 2005). O SAR possui uma capacidade de penetração em dosséis, além de apresentar uma relação significativa entre retroespalhamento e estrutura e umidade da vegetação (Ulaby et al. 1984; Paloscia et al. 1999; Inoue et al. 2002).

Um dos sensores orbitais de radar mais recentes foi lançado pela Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) a bordo do satélite *Advanced Land Observation Satellite* (ALOS), é o *Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR) (Rosenqvist, 2007). Este sensor tem a capacidade de adquirir imagens em polarizações simples, dupla ou quádrupla (Gomes et al., 2007).

O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise comparativa e de complementaridade do sensor PALSAR e índices de vegetação espectrais obtidos do sensor LANDSAT 7-ETM+ para a discriminação de alvos antrópicos e naturais dentro do Bioma Cerrado.

2. Material e Métodos

2.1. Dados do Sensor ALOS-PALSAR

O PALSAR é um Radar de Abertura Sintética (SAR) multi-polarimétrico desenvolvido para operar em uma frequência nominal de 1270 MHz (banda L), podendo operar em cinco diferentes modos de operação (Rosenqvist et al., 2007): Fine Beam Single polarization (FBS), Fine Beam Dual polarization (FBD), Polarimetric mode (POL), ScanSAR e Direct Transmission (DT).

Neste trabalho, foi utilizada uma cena correspondente a parte central do Distrito Federal, de 25 de abril de 2007, abrangendo áreas urbanas e áreas naturais (Figura 1). Nesta região podem ser encontradas as principais fitofisionomias do Cerrado, além de áreas urbanas em diversos estágios de estabelecimento.

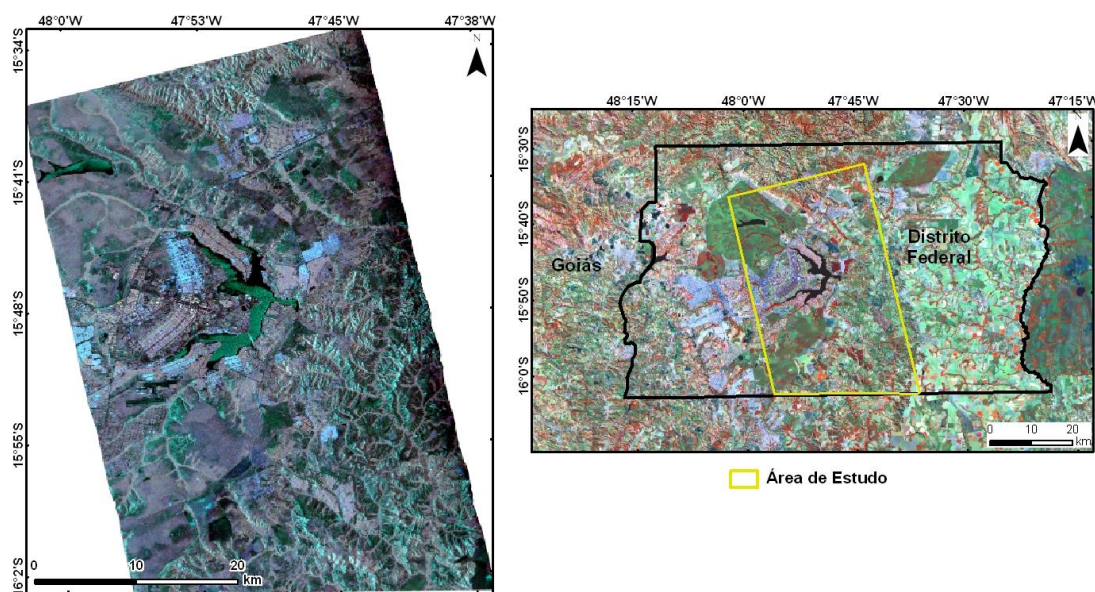


Figura 1 - Localização da área de estudo (polígono amarelo) demarcada dentro Distrito Federal (polígono preto); à direita, imagem Landsat 7-ETM+ de 20 de julho de 2001 (RGB-453); à esquerda, imagem do sensor PALSAR, obtida no dia 25 de abril de 2007 (RGB-HH_HV_VV).

Para os produtos básicos do PALSAR (nível 1.5), a conversão entre amplitude (DN) e seção transversal de radar normalizada σ^0 (dB), seguiu as seguintes equações (Shimada et al., 2006):

$$\sigma^0 = 10 \cdot \log_{10} \cdot [DN^2] + CF \quad (Eq.1)$$

$$CF = -83dB (st. dev 0.64dB) \quad (Eq.2)$$

Esta imagem (σ^0) possui uma resolução espacial de 12 metros, porém para a análise deste estudo, foi reamostrada para 30m, para torna-se compatível com o sensor Landsat 7-ETM+.

2.2. Dados do Sensor Landsat 7-ETM+

Foi utilizada a cena 221/71 referente ao dia 20 de julho de 2001, obtida em números digitais (ND), a partir da página do INPE (www.inpe.br). Para a correção atmosférica, foi utilizado o algoritmo FLAASH, que é baseado no código de transferência radiativa MODTRAN (Adler-Golden, 1999; Berk et al., 2002). Foi considerada altitude média de 1000 metros, desconsiderado o modelo de aerosol Kaufmann-Tanré, visibilidade de 100 km e modelo de multiespalhamento ISAACS.

Após a correção atmosférica, os canais de reflectância individuais foram utilizados para obtenção de dois índices de vegetação: o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), visando observar a correspondência qualitativa de suas variações com os padrões de crescimento da vegetação (Rouse et al., 1974; Huete et al., 1997), e o *Enhanced Vegetation Index* (EVI) para evidenciar as regiões com alta biomassa, reduzindo a influencia do solo e da atmosfera (Huete et al., 1994; 1997; Justice et al., 1998).

2.3. Análise comparativa entre PALSAR e Índices de Vegetação

Utilizando imagens de alta resolução providas do Google Earth®, foram coletadas 10 amostras irregulares (1 a 5 pixels) nas imagens do sensor PALSAR e nos índices de vegetação, sendo elas divididas em naturais e antrópicas. Dentro das áreas naturais foram coletadas amostras representando Formações Florestais (FL), Savânicas (SV) e Campestres (CP). Para as áreas antrópicas, foram amostradas: Área Agrícola (AG), Área Urbana Consolidada (UC), Área Urbana Não Consolidada (UN) e Reflorestamento (RF). As amostras foram coletadas dentro do Distrito Federal, inseridas na órbita/ponto 221/71 do sensor Landsat, datado de 20/07/2001, referente ao período seco do Bioma Cerrado.

As amostras foram normalizadas pela média e pelo desvio-padrão para realizar a comparação e construção dos gráficos de dispersão (Moran et al., 2002). Para avaliar o potencial de discriminação entre as classes, foi realizada a análise de variância (ANOVA) e o teste Tukey, com um nível de significância $\alpha = 0,05$, segundo o teste de hipóteses:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

3. Resultados e Discussão

3.1. Análise Comparativa entre PALSAR e Índices de Vegetação

Dentre as polarizações estudadas, a HV foi a que apresentou o menor valor médio de retroespalhamento a maior variância dos dados (24,21) (Tabela 1), permitindo desconcentrar os dados, e com isso, facilitar a diferenciação (Figura 2). Dentre os índices de vegetação o valor médio do NDVI mostra-se cerca de 0,2 superior que o EVI, devido aos efeitos ocasionados pelo espalhamento atmosférico e pela desconsideração da influencia dos solos (Huete, 1994). A análise da estatística descritiva conduz a uma conjugação entre os sensores ópticos e microondas utilizando o NDVI e a polarização HV.

Tabela 1 - Estatística descritiva dos coeficientes retroespalhamento (σ°) do sensor PALSAR e dos Índices de Vegetação do sensor Landsat.

	Mínimo	Máximo	Média	Erro Padrão	Desvio Padrão	Variancia
HH	-15,8010	8,5678	-7,1420	0,5266	4,4060	19,4126
HV	-26,7830	-9,1070	-15,6572	0,5881	4,9204	24,2104
VV	-15,8347	-1,4348	-9,1154	0,3826	3,2012	10,2480
NDVI	0,0669	0,8932	0,5014	0,0327	0,2739	0,0750
EVI	0,0410	0,8959	0,3040	0,0270	0,2262	0,0512

Os resultados mostraram que dentre as polarizações avaliadas a maior correlação foi encontrada entre as polarizações HH e VV (0,85) (Tabela 2), o que significa uma maior redundância entre seus dados. Nesse sentido, quando as polarizações principais são correlacionadas com a polarização cruzada (HV), observa-se uma correlação mais baixa, o que indica uma maior complementaridade entre seus dados, permitindo maior discriminação de alvos. Os dados σ° e os índices de vegetação apresentaram as correlações mais baixas reforçando a complementaridade entre os sensores, permitindo apontar uma associação entre a polarização VV e o EVI, com o maior potencial de discriminação dos alvos.

Tabela 2 – Coeficientes de Correlação de Pearson entre os coeficientes de retroespalhamento (σ°) do sensor PALSAR e os Índices de Vegetação do sensor Landsat.

	HH	HV	VV	NDVI	EVI
HH	1,000				
HV	0,626	1,000			
VV	0,855	0,798	1,000		
NDVI	-0,138	0,075	-0,028	1,000	
EVI	-0,138	-0,098	-0,148	0,889	1,000

Os maiores valores de índices de vegetação, tanto para o NDVI quanto para o EVI, estão associados às Formações Florestais (FL), Reflorestamento (RF) e Área Agrícola (AG), podendo ser separados quando avaliados em conjunto com os dados σ° (Figura 2). Observa-se nessa figura que as classes FL e RF apresentam maiores valores σ° , devido à maior contribuição relativa do retroespalhamento de sua arquitetura do dossel, ou seja, folhas, galhos e troncos (Ulaby et al., 1984; Moran et al., 2002).

Formação Campestre (CP), Área Urbana Consolidada (UC) e Área Urbana Não Consolidada (UN) apresentaram os menores valores de NDVI e EVI (Figura 2). Dentre estas classes, a CP foi a que apresentou o menor retroespalhamento, devido à sua cobertura basicamente rasteira. A diferenciação entre UC e UN mostrou-se mais evidente quando a polarização cruzada (HV) não foi relacionada. A partir da geração dos gráficos de dispersão é possível confirmar a combinação entre a polarização HV e NDVI como uma potencial conjugação para a separação de classes dentro do bioma Cerrado.

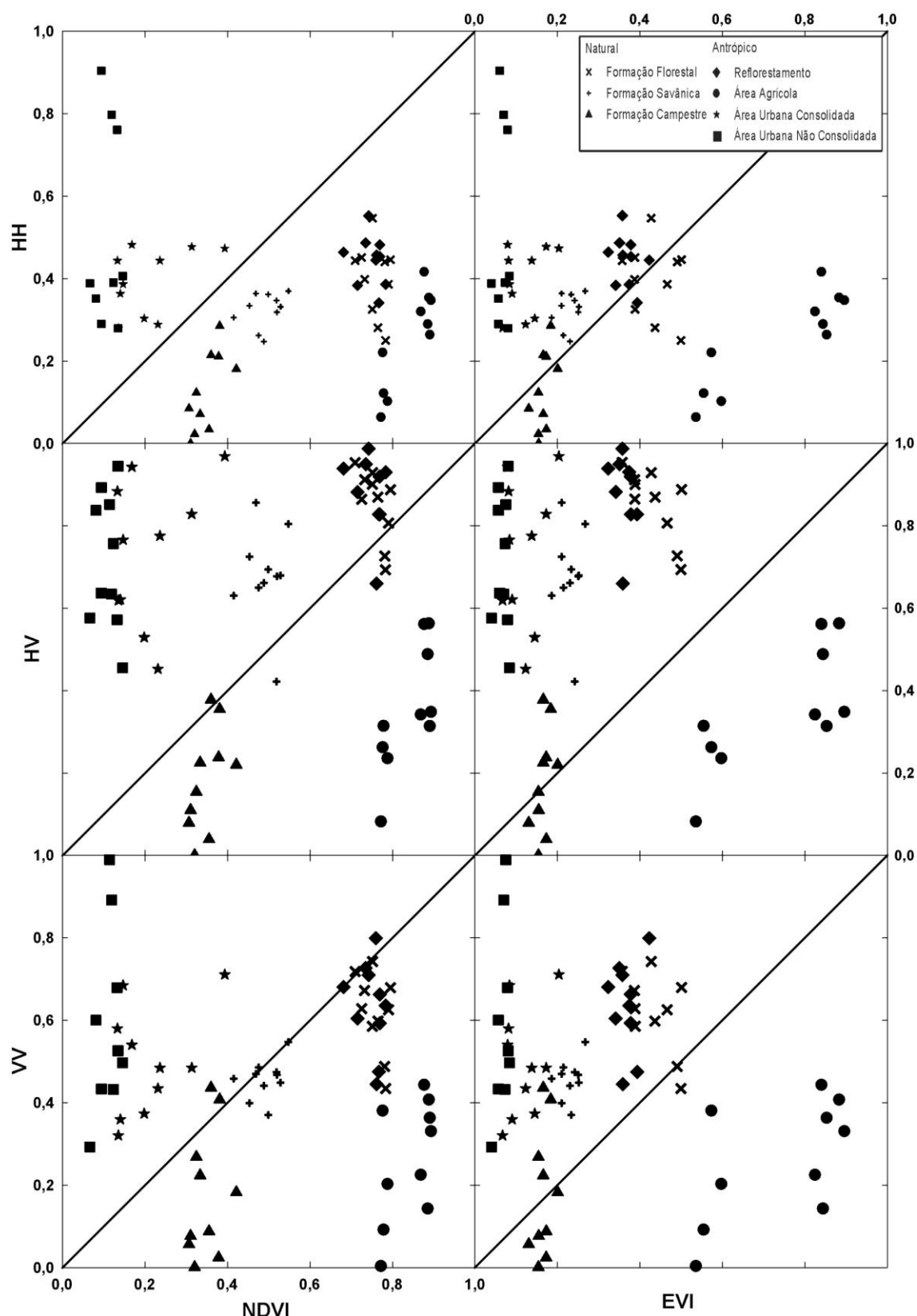


Figura 2 – Gráficos de dispersão entre os dados normalizados de retroespalhamento, para as polarizações HH, HV e VV, e os índices de vegetação espectrais.

A ANOVA (Tabela 3) indica resultados melhores para os índices de vegetação, com $F = 368,791$ e $126,312$, para NDVI e EVI, respectivamente, e as menores capacidade de separabilidade e classes para as polarizações HH ($F = 11,501$) e VV ($F = 16,119$). Estes resultados evidenciam a complementaridade entre as duas fontes de dados (microondas e ópticas), apontando na associação entre NDVI e a polarização HV o maior potencial para a discriminação dos alvos.

Tabela 3 - ANOVA dos coeficientes de retroespalhamento e índices de vegetação espectrais.

		SQ	GL	QM	F	F^2 ajustado
HH	Entre Grupos	1,179	6	0,197	11,501	0,477
	Dentro dos Grupos	1,076	63	0,017		
	Total	2,256	69			
HV	Entre Grupos	4,204	6	0,701	38,639	0,766
	Dentro dos Grupos	1,142	63	0,018		
	Total	5,347	69			
VV	Entre Grupos	2,065	6	0,344	16,119	0,568
	Dentro dos Grupos	1,345	63	0,021		
	Total	3,410	69			
NDVI	Entre Grupos	5,035	6	0,839	368,791	0,970
	Dentro dos Grupos	0,143	63	0,002		
	Total	5,178	69			
EVI	Entre Grupos	3,260	6	0,543	126,312	0,916
	Dentro dos Grupos	0,271	63	0,004		
	Total	3,531	69			

Tabela 4 - Teste Tukey para as classes em relação aos coeficientes de retroespalhamento e índices de vegetação. As mesmas letras não foram estatisticamente diferentes ($p < 0,05$). Área Urbana Consolidada (UC), Área Urbana Não Consolidada (UN), Área agrícola (AG); Formação Campestre (CP); Formação Florestal (FL); Formação Savânica (SV); Reflorestamento (RF).

HH		HV		VV	
Classe	Grupos	Classe	Grupos	Classe	Grupos
UN	A	RF	A	UN	A
RF	B	FL	A B	RF	A
FL	C	UC	A B	FL	A
UC	C	UN	A B	UC	A
SV	C	SV	B	SV	A B
AG	D	AG	C	AG	B C
CP	D	CP	C	CP	C
NDVI			EVI		
Classe	Grupos	Classe	Grupos	Classe	Grupos
AG	A	AG	A		
FL	B	FL	B		
RF	B	RF	B		
SV	C	SV	C		
CP	D	CP	C D		
UC	E	UC	D E		
UN	F	UN	E		

A partir do teste Tukey (Tabela 4), foi possível confirmar os resultados da ANOVA que os índices de vegetação apresentaram melhor capacidade de separar as classes. Ambos os índices não apresentaram diferença estatística significativa para FL e RF, o que pode ser devido a uma formação de dossel semelhante. Por se tratar de reflorestamento de *Pinus sp.*, com uma arquitetura que favorece uma maior influência de sombreamento, assim como a composição de suas acículas (folhas modificadas), sua média foi inferior em relação às formações florestais (FL).

A polarização HH foi a única capaz de separar as classes FL e RF, porém, não houve diferença significativa entre as classes FL, UC e SV. Para a polarização VV, não foram encontradas diferenças significativas entre as classes UN, RF, FL, UC e SV, em ordem decrescente das maiores médias estimadas, ou seja, a classe UN foi a que apresentou o maior retroespalhamento. Este fato pode estar associado ao grau de ocupação destas áreas, com predominância de alvos horizontais que contribuem para o aumento de suas médias estimadas (retroespalhamento). Partindo dos resultados teste Tukey e das relações observadas acima, podemos indicar uma associação entre polarização HH e NDVI com um maior potencial para a discriminação das classes estudadas.

4. Conclusão

A associação de dados advindos de sensores ópticos (Landsat) e de microondas (PALSAR) apresenta potencial para a discriminação de alvos dentro bioma Cerrado, sendo observada uma complementaridade entre estes dois tipos de sensores. Este fato pode ser explicado devido à baixa correlação encontrada entre os dados do sensor ALOS e os índices de vegetação gerados a partir do sensor Landsat.

As classes que apresentam atividade fotossintética, por exemplo, as formações florestais, reflorestamento e área agrícola, apresentaram os maiores valores para os índices de vegetação, devido à sua atividade fotossintética. Os valores mais baixos estão associados às classes com baixa cobertura vegetação (campestre) ou mesmo ausência (áreas urbanas).

Quando são considerados os dados do PALSAR, observa-se que os maiores valores de retroespalhamento são observados nas áreas urbanas, em qualquer nível de ocupação (consolidada ou não consolidada). Além disso, a discriminação dessas áreas mostra-se mais evidente quando não é utilizada polarização cruzada. Por outro lado, os menores coeficientes de retroespalhamento estão relacionados às áreas onde com cobertura homogênea (campestre e agrícola).

A complementaridade entre os sensores ópticos e microondas mostra-se evidente para separação das formações savânicas das campestres quando associando os índices de vegetação com a polarização cruzada. Outra discriminação que demonstra esta sinergia é a utilização da polarização HH para separar classes de reflorestamento e formação florestal, não atingida quando utilizada apenas os índices de vegetação.

Para futuros estudos de discriminação de alvos dentro do bioma Cerrado as principais associações entre sensores microondas e ópticos que devem ser avaliadas são: HV+NDVI, VV+EVI e HH+NDVI.

Referências Bibliográficas

Adler-Golden, S.M.; Matthew, M.W.; Bernstein, L.S.; Levine, R.Y.; Berk, A.; Richtsmeier, S.C.; Acharya, P.K.; Anderson, G.P.; Felde, G.; Gardner, J.; Hoke, M.; Jeong, L.S.; Pukall, B.; Mello, J.; Ratkowski, A.; Burke, H. Atmospheric correction for shortwave spectral imagery based on MODTRAN4. SPIE Proc. Imaging Spectrometry, 1999. 3753:61-69.

Berk, A.G.P.; Adler-Golden, S.M.; Ratkowski, A.J.; Felde, G.W.; Anderson, G.P.; Hoke, M.L.; Cooley, T.; Chetwynd, J.H.; Gardner, J.A.; Matthew, M.W.; Bernstein, L.S. Acharya, P.K.; Miller, D.; Lewis, P. Exploiting MODTRAN radiation transport atmospheric correction: the FLAASH algorithm. SPIE Proceeding, Optical Spectroscopic Techniques and Instrumentation for Atmospheric and Space Research, 2002, 798-803.

Gomes, L.B.; Gelli, G.; Carvalho, M.J.; Fortes, L.P.S.; Neto, J.P.; Coelho, A.L.; Oliveira, L.F.; Belle-Hamer, N. Mapeando a Amazônia com o satélite ALOS (Advanced Land Observing Satellite). (2007). *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 6759-6761.

Huete, A., Justice, C., Liu, H. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, p.224–234, 1994.

Huete, A.R.; Liu, H.Q.; Batchily, K.; Van Leeuwen, W. A comparison of Vegetation Indices over a global set of TM Images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, 59:440-451, 1997.

Inoue, Y., T. Kurosu, H. Maeno, S. Uratsuka, T. Kozu, K. Dabrowska-Zielinska, and J. Qi, Season-long daily measurements of multifrequency (Ka, Ku, X, C and L) and fullpolarization backscatter signatures over paddy rice field and their relationship with biological variables. **Remote Sensing of Environment**, 81: 194–204, 2002.

Justice, C.O.; Vermote, E.; Townshend, J.R.G.; Defries, R.; Roy, P.D.; Hall, D.K.Salomonson, V.; Provette, J.L.; Riggs, G.; Strhler, A.; Lucht, W.; Myneni, B.; Knyazikhin, Y.; Running, W.S.; Nemani, R.R.; Wan, Z.; Huete, A. R.; Leeuwen, W.V.; Wolfe, R. E.; Giglio L.; Muller, J.P.; Lewis, P. & Barnsley, M. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 36(4):1228-1247, 1998.

Justice, C.O., Townshend, J.R.G. Special issue on the moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): a new generation of land surface monitoring. **Remote Sensing of Environment**. 83(1):1-2, 2002.

Moran, M. S., D. C. Hymer, J. Qi, and Y. Kerr. Comparison of ERS-2 SAR and Landsat TM imagery for monitoring agricultural crop and soil conditions. **Remote Sensing of Environment**, 79: 243–252, 2002.

Paloscia, S., G. Macelloni, P. Pampaloni, And S. Sigismondi. The potential of C- and L-band SAR in estimating vegetation biomass: The ERS-1 and JERS-1 experiments. **IEEE Transactions on Geosciences Remote Sensing**, 37:2107–2110, 1999.

Rosenqvist, A.; Shimada, M.; Ito, N.; Watanabe, M. ALOS PALSAR: a pathfinder mission for global-scale monitoring of environment. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 45, n. 11, p. 3307–3316, 2006.

Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351, p.301–317, 1974.

Shimada, M.; Ito, N.; Watanabe, M.; Moriyama, T.; Tadono, T. PALSAR initial calibration and validation results, *Proc. SPIE*, p. 6359–6367, 2006.

Ulaby, F. T., C. T. Allen, G. Eger III, and E. Kanemasu. Relating the microwave backscattering coefficient to leaf area index. **Remote Sensing of Environment**, v.14, p. 113–133, 1984.

Yu, F.; Price, K.P.; Ellis, J.; Shi, P. Response of seasonal vegetation development to climatic variations in eastern central Asia. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, p. 42-54.