Análise dos produtos de NDVI dos sensores MODIS/Terra e VEGETATION/SPOT

Fernando Yuzo Sato[1]
Gabriel Pereira[1]
Francielle da Silva Cardozo [1]
Egidio Arai [1]
Elisabete Caria Moraes [1]
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff [1]

[1] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{yuzo, gabriel, cardozo, egidio, bete, bernardo}@dsr.inpe.br

Abstract. This study aims to assess the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) estimated by Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) aboard Terra Satellite and by VEGETATION sensor aboard Satellite pour l'Observation de la Terre (SPOT). The NDVI values of January 01, 2012 (rainy season in almost Brazil territory) and July 21, 2012 (dry season in central-western of Brazil) were used and a compatibilization was performed between MODIS and VEGETATION due to spatial and temporal differences, taking into consideration the acquisition geometry, the percentage of cloud cover, among others. Moreover, to evaluate the NDVI values we performed a random sampling of 100 points, weighted by the total area of each Brazilian biome. Thus, we sampled 49, 24, 13, 10, 2 and 2 points for the Amazon, Cerrado, Atlantic Forest, Caatinga, Pantanal and Pampa biomes, respectively. Initial results indicate that the main differences between NDVI products could be related to the algorithm used for removing pixels with cloud, since the image with the peak of clouds shows the highest differences in estimated values. The statistical analysis indicates a significant difference between the NDVI values estimated by VEGEGETATION/SPOT and by MODIS/Terra for the first 10 days of January 2012 ($p > 0.05$, t-student). During this period, the correlation between D10 and S10 NDVI products with MODIS data were approximately 67%. Also, in July 21, 2012, the products showed a good agreement between both data, with a correlation of approximately 90% ($p > 0.05$, t-student).

Palavras-chave: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), SPOT Vegetation, MODIS, índice de Vegetação por Diferença Normalizada, SPOT Vegetation, MODIS.

1. Introdução

O sensoriamento remoto é uma técnica que permite o estudo de diversas variáveis ambientais devido à sua aplicabilidade nas ciências físicas, biológicas e sociais. A fundamentação das técnicas do sensoriamento remoto é baseada na porção da radiação eletromagnética (REM) solar que é refletida ou na emissão termal da REM pelos diferentes alvos da superfície terrestre (Meneses e Madeira Netto, 2001). Na reflectância espectral dos dosséis, pode-se citar a influência de três fatores dominantes: I) pigmentos encontrados nas folhas (clorofila, carotenoide, xantofilas), que atuam como absorvedores da REM na região espectral do visível (radiação fotosinteticamente ativa), com um pico de reflectância na região do espectro eletromagnético (EEM); II) estrutura celular (epiderme e cutícula), pois ao incidir nas células do mesófilo esponjoso e nas cavidades de ar presentes no interior da folha, a REM sofre múltiplos espalhamentos e refração (devido à diferença de meios), aumentando, desta forma, o retroespalhamento da REM e, consequentemente, a reflectância nesta faixa espectral; e III) conteúdo de água na folha, pois no infravermelho médio a resposta espectral é dominada principalmente pela absorção de REM pelas moléculas de água, sendo evidentes as bandas de absorção centradas em 1400 nm, 1900nm e 2500nm (Ponzoni, 2001).

Além das características físico-químicas e biológicas do dossel, alguns fatores influenciam na composição do sinal captado por sensores orbitais. Pode-se citar a forma geométrica e estrutural do dossel, o ciclo fenológico, o tipo de cultura, o grau de senescência, além de fatores externos como eventos meteorológicos, características do sensor, geometria de aquisição dos dados, relevo, entre outros (Justice et al., 1991). Entre os fatores

mencionados, os ciclos fenológicos e hidrológicos determinam mudanças relevantes na vegetação, as quais resultam em alterações gradativas na reflectância espectral, definindo um perfil espectro-temporal para a mesma. A caracterização destes perfis permite a diferenciação entre as espécies vegetais e a característica fenológica da mesma (Chapin et al., 2002).

Neste contexto, o desenvolvimento de programas voltados à aquisição de dados ambientais através de satélites, como o programa CBERS, LANDSAT, SPOT, EOS, entre outros, provocou o surgimento e desenvolvimento de diversos produtos derivados de dados orbitais, como por exemplo, índices de vegetação que indicam o vigor vegetativo. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo principal avaliar o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) estimado pelo sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) abordo do satélite Terra e pelo sensor VEGETATION abordo do *Satellite pour l'Observation de la Terre* (SPOT).

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo (Figura 1) compreende a parte central da América do Sul, centralizada no Brasil, localizada entre as coordenadas geográficas com latitudes entre N 6°00' e S 34°00', e longitudes entre W 75°00' e W 34°00'. O território brasileiro comporta um mostruário bastante complexo das principais paisagens e ecologias do Mundo Tropical, representado por seis domínios paisagísticos e macroecológicos (quatro intertropicais e dois subtropicais): I) domínio das depressões interplanálticas semiáridas do Nordeste; II) domínio dos "mares de morros" florestados da fachada atlântica brasileira; III) domínio das terras baixas florestadas da Amazônia; IV) domínio dos chapadões recobertos por cerrados e penetrados por florestas-galerias; V) domínio dos planaltos de Araucárias do Brasil Meridional; e VI) domínio das pradarias mistas do sudeste do Rio Grande do Sul, terras uruguaias e argentinas (Ab'Saber, 1977).

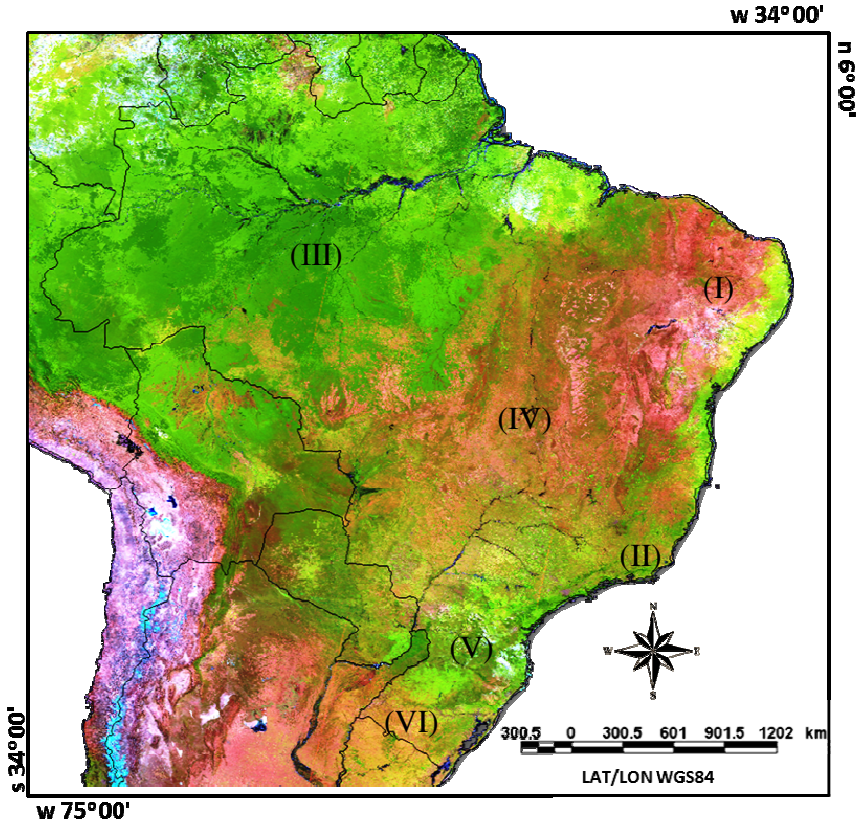


Figura 1.Área de estudo, imagem para o dia 21 de julho de 2012, proveniente do satélite SPOT, composição falsa-cor (2B3G4R).

Entre os domínios paisagísticos e macroecológicos, pode-se destacar o domínio III, referente as terras baixas florestadas da Amazônia, caracterizado por uma área zonal ao logo da faixa do Equador, com mais de 2 milhões de km², composto por uma zona de planícies de inundação labirínticas e meândricas, tabuleiros de vertentes convexizadas, morros baixos mamelonares ou semi-mamelonizados nas bordas cristalinas da bacia sedimentar amazônica, cristas descontínuas e blocos montanhosos restritos. Neste domínio é comum encontrar notáveis superfícies aplainadas modernas, terraços baixos mantidos por cascalheiras e crostas de lateria, drenagens extensivamente perenes, porém suscetíveis a cortes nas áreas de desmatamento extensivo em planaltos sedimentares de solos porosos (Ab'Saber, 1977). Outro domínio que merece destaque é o domínio IV, referente aos chapadões recobertos por cerrados e penetrados por florestas-galerias, composto por uma região de maciços planaltos de estrutura complexa e planaltos sedimentares compartimentados, com vegetação de cerradões e cerrados nos interflúvios. Neste domínio é comum encontrar planícies aluviais estreitas e homogêneas, em geral, não meândricas, incluindo florestas galerias contínuas (Ab'Saber, 1977).

Na literatura é possível encontrar diversas metodologias para analisar o vigor vegetativo e o comportamento temporal da vegetação em épocas chuvosas e secas. Em alguns casos pode-se utilizar apenas a reflectância *in band* proveniente de sensores orbitais, ou mesma integrá-las numa análise mais complexa. Desta forma, para minimizar interferências no processo de aquisição e redundância de informações espectrais, a reflectância *in band* de áreas vegetadas pode ser combinada, dando origem aos índices de vegetação. Entre os índices mais comuns está o NDVI, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index*, ou índice de vegetação por diferença normalizada (Rouse et al., 1973). O NDVI utiliza as informações espectrais referentes à faixa do EEM do vermelho e do infravermelho próximo (Equação 1), pois as mesmas contém aproximadamente 90% da variação da resposta espectral da vegetação (Elvidge e Chen, 1995; Matsumoto e Bittencourt, 2001; Ponzoni, 2001):

$$NDVI = \frac{\rho_{ivp} - \rho_{vermelho}}{\rho_{ivp} + \rho_{vermelho}} \quad (1)$$

em que ρ_{ivp} representa a reflectância *in-band* na faixa do EEM referente ao infravermelho próximo (0,73μm–1,3μm) e $\rho_{vermelho}$ representa a faixa do EEM referente ao vermelho (0,622μm–0,700μm). Ressalta-se que a faixa do EEM imageada pelos sensores pode variar de sensor para sensor.

A Figura 2 mostra o fluxograma da metodologia dividido em 4 etapas principais. As etapas (I) e (II) consistiram na aquisição dos dados de NDVI provenientes dos sensores VEGETATION/SPOT (VEG/SPOT) e MODIS/Terra para os dias 01 de janeiro de 2012 (estação chuvosa em grande parte do Brasil) e 21 de julho de 2012 (Estação seca na região centro-oeste do Brasil). Para originar um produto compatível com a escala temporal de NDVI proveniente do sensor VEG/SPOT, os dados de reflectância diária do MODIS/Terra, para o mesmo período de aquisição, foram compostos pelo melhor pixel disponível, levando em consideração a geometria de aquisição, percentual de cobertura de nuvens, entre outros. A terceira etapa (III) consistiu na amostragem aleatória de 100 pontos (Figura 3), ponderados pela área total de cada bioma brasileiro. Desta forma, foram amostrados 49, 24, 13, 10, 2 e 2 pontos para os biomas Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pampa e Pantanal, respectivamente.

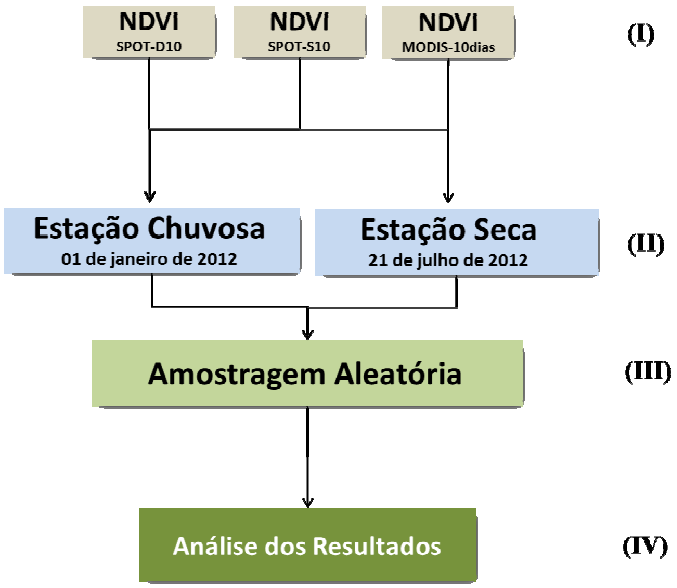


Figura 2. Fluxograma da metodologia.

A quarta etapa (IV) consistiu na análise dos resultados, em que foi realizada a comparação dos produtos VEG/SPOT D10, VEG/SPOT S10 e MODIS (composição de 10 dias). A principal diferença entre os produtos consiste na faixa espectral utilizada e no processamento do produto. O VEG/SPOT possui dois produtos de NDVI que variam de acordo com o tipo de processamento. Os produtos S10 são compostos de uma síntese de 10 dias, originados a partir da seleção dos melhores pixels para o período e os produtos D10 são baseados na função de distribuição de reflectância bidirecional (FDRB), que define como a radiação eletromagnética é refletida (Duchemin et al., 2000).

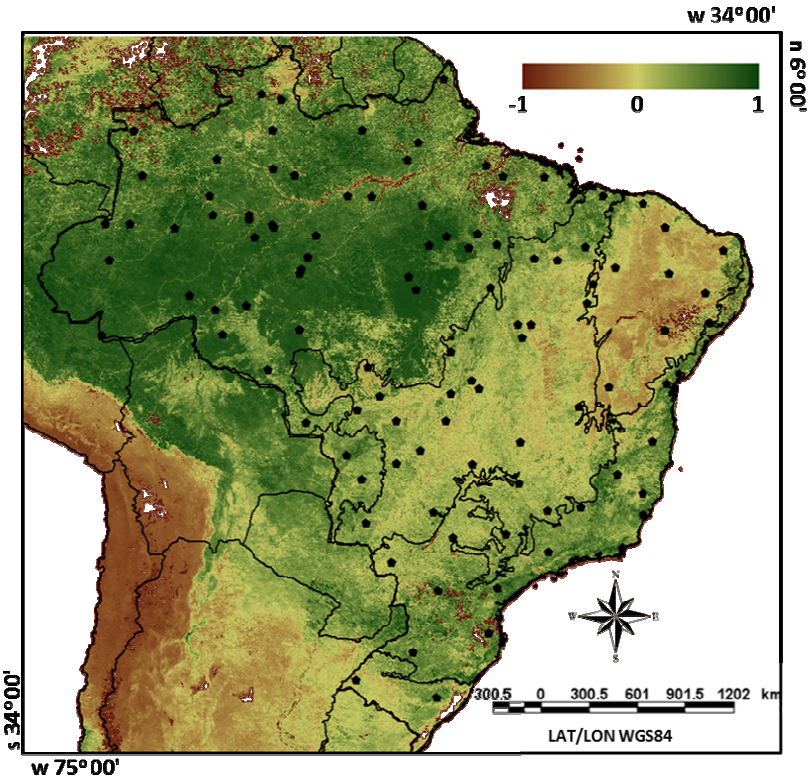


Figura 3. Pontos utilizados para a comparação dos produtos de NDVI (NDVI, 21 de julho de 2012, D10-VEG/SPOT).

3. Resultados e discussão

A Figura 4 exibe os valores de NDVI estimados pelos sensores VEG/SPOT e MODIS/Terra para o período de 10 dias para as estações chuvosa (01 de janeiro de 2012, Figuras 4a, 4c e 4e) e seca (21 de julho de 2012, Figuras 4b, 4d e 4f). Ressalta-se que embora o produto receba a denominação de apenas um dia, este corresponde a um mosaico de 10 dias dos melhores pixels possíveis. Na Figura 4a e 4c podem-se visualizar as disparidades entre os dois processamentos realizados para a estimativa de NDVI nos dados do VEG/SPOT, D10 e S10, respectivamente. Entre as principais diferenças pode-se destacar a presença de nuvens no produto D10 (em branco, Figura 4a), localizadas principalmente sobre a região Amazônica e região Sudeste do Brasil. Entretanto, embora o produto S10 (Figura 4c) utilize um algoritmo baseado na FDRB para minimizar o efeito das nuvens, observam-se erros nestas áreas, uma vez que é possível detectar valores de NDVI em discordância com o esperado para a Floresta Amazônica, por exemplo.

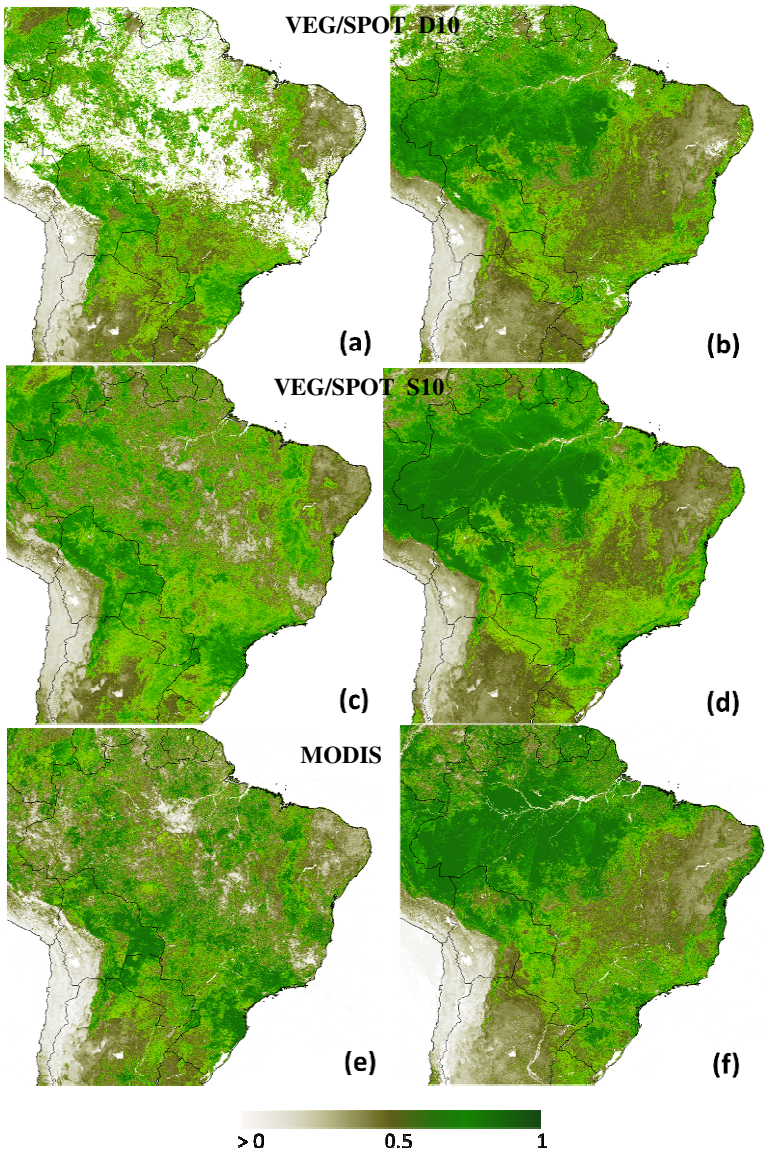


Figura 4. Valores do mosaico de 10 dias de NDVI para: (a) 01 de janeiro de 2012, VEG/SPOT D10; (b) 21 de julho de 2012, VEG/SPOT D10; (c) 01 de janeiro de 2012, VEG/SPOT S10; (d) 21 de julho de 2012, VEG/SPOT S10; (e) 01 de janeiro de 2012, MODIS; (f) 21 de julho de 2012, MODIS.

Do mesmo modo, verifica-se que os mesmos erros encontrados no produto S10 para a estação chuvosa no Brasil são diagnosticados para o mosaico de 10 dias originado do sensor MODIS/Terra (Figura 4e). Entre as principais causas destes erros, pode-se citar a inexistência de um pixel sem nuvem no mosaico de 10 dias, ou mesmo pixels contaminados, na qual a nuvem contamina parte do pixel e não sua totalidade. Embora estes produtos apresentem erros em relação à estimativa de NDVI para a época chuvosa, observa-se claramente uma boa concordância entre os três produtos para a estação seca (época com baixa incidência de nuvens no horário de passagem dos sensores, que ocorre aproximadamente as 10:30 AM). Na Figura 4b é possível verificar nuvens no mosaico de 10 dias, localizadas principalmente no extremo norte do Brasil e em Santa Catarina. Entretanto, nota-se que a presença de nuvens não influenciou consideravelmente nos produtos S10 (Figura 4d) e nos dados do MODIS (Figura 4e).

A Figura 5 mostra o gráfico de dispersão entre os produtos derivados do VEG/SPOT e a estimativa realizada a partir dos dados do sensor MODIS/Terra, para a estação chuvosa (Figura 5a) e para a estação seca (Figura 5b). A análise estatística indica uma diferença significativa entre os valores de NDVI estimados pelo VEG/SPOT e pelo MODIS/Terra para os primeiros 10 dias de janeiro de 2012 ($p>0.05$, *t-student*). Neste período, a correlação entre os produtos D10 e S10 com os dados do MODIS foram de aproximadamente 67%, porém, é possível encontrar diferenças relevantes, em alguns pontos, os valores estimados pelo MODIS podem ser subestimados em até 200% se comparados com os produtos D10 e S10.

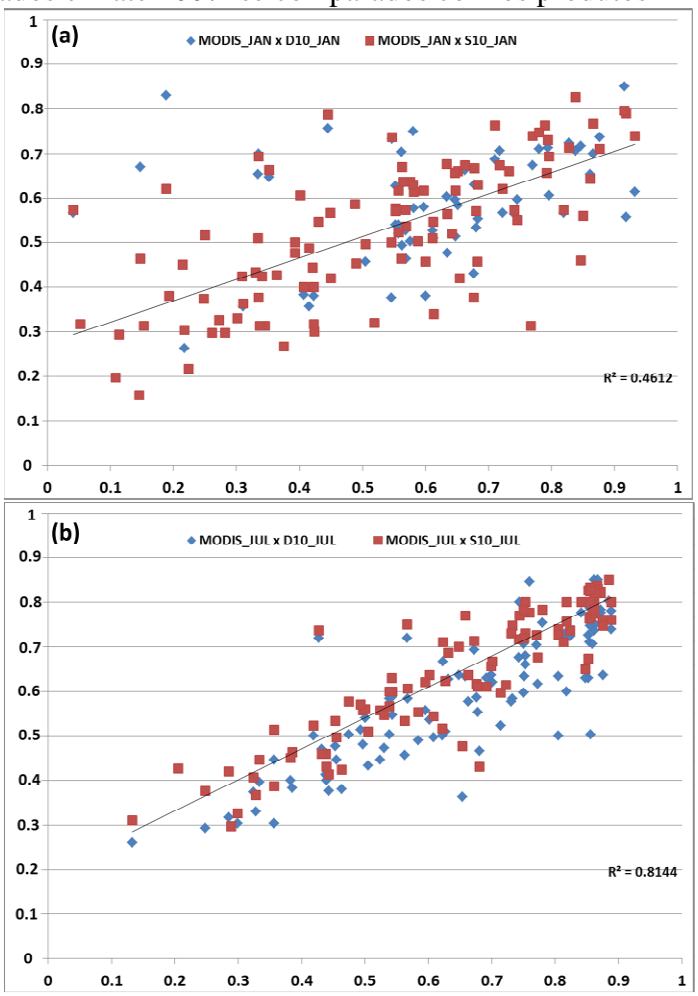


Figura 5. Gráfico de dispersão entre os valores de NDVI dos produtos D10, S10 e MODIS para 01 de janeiro de 2012 (a) e 21 de julho de 2012 (b).

A Figura 5b exibe o gráfico de dispersão entre os dados do VEG/SPOT e MODIS para a data de 21 de julho de 2012. Diferentemente da imagem de janeiro, é possível visualizar uma boa concordância entre ambos os dados. Neste período, a correlação entre os dados foi de aproximadamente 90% ($p>0.05$, *t-student*). Desta forma, ao se analisar o processo de aquisição das informações espectrais da superfície e da composição dos mosaicos de 10 dias, verifica-se que grande parte da diferença entre ambos os produtos está relacionada com o algoritmo para remoção de pixels com nuvem, tendo em vista que a imagem com maior quantidade de nuvens é aquela que apresenta diferença entre os valores estimados.

4. Conclusões

Relacionando comprimentos de onda na região espectral do vermelho e do infravermelho próximo, o NDVI é comumente empregado no estudo ambiental. Este índice baseia-se no comportamento espectral da superfície terrestre, relacionando a absortância e reflectância dos diversos elementos presentes na vegetação, como o vigor vegetativo. Na literatura é comum encontrar trabalhos relacionando o NDVI com áreas queimadas, diferentes tipos de uso e cobertura da terra, fisionomias vegetais, biomassa, entre outros. Neste contexto, o NDVI é sensível aos efeitos atmosféricos, geometria de aquisição, nuvens, anisotropia, entre outros. Desta forma, a análise de erros introduzidos no processamento e mesmo a comparação de diversos produtos orbitais com a finalidade de compatibilização dos mesmos deve ser realizada com o intuito de dar suporte a análise temporal da vegetação em diversas escalas geográficas.

Referências Bibliográficas

Ab´Saber, A. N. Potencialidades paisagísticas brasileiras. **Seleção de Textos de Geomorfologia**. São Paulo, SP:Instituto de Geografia/USP, v. 55, p. 01-25, 1977.

Chapin, F. S.; Matson, P.A.; Mooney, H.A. **Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology**. Springer-Verlag, New York, New York, USA. 2002.

Duchemin, B.; Maisongrande, P.; Dedieu, G .; Leroy, M.; Roujean, J .L.; Bicheron, P.; Hautecoeur, O.; Lacaze, R. A 10-days compositing method accounting for bidirectional effects. **Proceedings of the VEGETATION 2000**, Belgirate Italy (3 - 6 April 2000), p. 313 - 318, 2000.

Elvidge, C. D.; Chen, Z. Comparison of broad-band and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 54, n.1, p. 38-48, 1995.

Justice, C.O.; Townshend, J.R.G; Kalb, V.L. Representation of vegetation by continental data sets derived from NOAA-AVHRR data**. International Journal of Remote Sensing**, Basing stoke, V. 12, n.5, p. 999-1021, 1991.

Matsumoto, R. B.; Bittencourt, M. D. Correlação entre algumas Fisionomias de Cerrado, no Vale do Paraíba, e Classes de Índices de Vegetação Obtidos Espectralmente. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, X., Foz do Iguaçu, 21 a 26 de abr. 2001. **Anais do X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Paraná, p. 1665-1672, 2001.

Meneses, P.R.; Madeira Netto, J.S. **Sensoriamento Remoto: Reflectância dos Alvos Naturais**. Ed. Univ. de Brasília, 2001, 262p.

Ponzoni, F.J. Comportamento Espectral da Vegetação. In: **Sensoriamento Remoto** reflectância dos alvos naturais. Brasília: UnB, 2001., Cap. 5, p. 157-202.

Rouse, J.W.; Haas, R.H.; SchelL, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In **3rd ERTS Symposium**, NASA SP-351 I, p. 309–317, 1973.