

Potencial de sinergia entre imagens índice de vegetação obtidas a partir de dados Terra-MODIS e PROBA-V

Arielle Elias Arantes¹
Laerte Guimarães Ferreira¹
Michael John Hill²
Silvio Braz de Sousa¹

¹ Universidade Federal de Goiás
Instituto de Estudos Sócio-Ambientais – IESA/LAPIG
Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento - LAPIG
Caixa Postal 131 - 74001-970 - Goiânia - GO, Brasil
aearantes@gmail.com, laerte@ufg.br

² Department of Earth System Science and Policy
University of North Dakota
Clifford Hall, 9011
4149 University Drive
Grand Forks, ND, 58202
USA
hillmj@aero.und.edu

Abstract. The wide range of moderate resolution satellite sensors currently in operation provides an unique opportunity to study the complex nature of earth's phenomena. Although the combination of vegetation index images from different satellite sensors are desired by scientists, many complex challenges remain, including, among others, the integration of imagery with distinct spatial and radiometric characteristics. As such, this paper investigates the potential of synergy between normalized difference vegetation index (NDVI) images derived from the NASA Terra-MODIS (250 m spatial resolution) and the European PROBA-V (with 100 m spatial resolution). The comparative analyses were based on NDVI data for 20 pasture sites in the Rio Vermelho Watershed (BHRV, Goiás State), for three available dates (May 9th, May 27th, and June 10th, 2014), as well as for the entire watershed area (and only one overpass, May 9th). The PROBA-V and MODIS NDVI values for all dates were very close, with a difference of about 0.1 and a correlation of 0.69. There was a slight tendency of saturation, with higher variation of the NDVI values for PROBA-V, as a result of its higher spatial resolution. The PROBA-V had higher values over pasture (0.70) compared to MODIS (0.65). The discrepancies in the NDVI values can also be explained by the very different spectral response functions of the sensors, with narrower bands for MODIS, particularly in the infrared region.

Keywords: PROBA-V, Terra-MODIS, NDVI, Pastures, sensor integration

1. Introdução

Desde 1972, com o lançamento do primeiro satélite da série Landsat, diversos satélites com sensores multiespectrais foram lançados para observar a superfície terrestre, com destaque para os satélites de resolução espacial moderada (ex. NOAA-AVHRR, SPOT Vegetation, Terra-MODIS), cujas imagens, realçadas através dos chamados índices de vegetação, são particularmente úteis para o monitoramento da cobertura vegetal (MYNENI et al., 1998).

O índice de vegetação mais utilizado é o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), calculado pela razão normalizada entre as bandas do vermelho e infravermelho próximo. Este é um índice apropriado para análises espectrais utilizando diferentes sensores, pois os efeitos da direção de visada, tempo de observação, condições atmosféricas e degradação do sensor são parcialmente eliminados (BUHEAOSIER et al., 2003). A sensibilidade do NDVI à diversos parâmetros ecossistêmicos tem aumentado o seu potencial de aplicação e incentivado o desenvolvimento de novos sensores para estudos da vegetação.

O primeiro sensor de resolução espacial moderada para estudos da cobertura vegetal, com duas bandas nos intervalos do vermelho e infravermelho próximo sem sobreposição, foi o sensor AVHRR, abordo do satélite NOAA, lançado em Outubro de 1978 (TOWNSEND & TUCKER, 1981). Imagens AVHRR NDVI, com resolução espacial de 8 km, são disponibilizadas desde 1981 pelo GIMMS (*Global Inventory Mapping and Monitoring System*) na forma de *composites*, gerados pela seleção da melhor observação dentro de um período de 15 dias (TUCKER et al., 2005; TARNAVSKY et al., 2008).

No âmbito do programa EOS (*Earth Observing System*), a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) lançou os satélites Terra e Aqua, em 2000 e 2002, respectivamente, carregando o sensor MODIS (*Moderate Resolution Espectroradiometer*). O MODIS têm 32 bandas espectrais nos intervalos do visível ao infravermelho termal, 250 m, 500 m e 1000 m de resolução espacial e um período de revisita de um dia (JUSTICE et al., 1998). As imagens são disponibilizadas na forma de produtos, à exemplo do MOD13Q1 índice de vegetação, com 12 bandas espectrais e dois índices de vegetação (NDVI e EVI) disponíveis para o usuário na forma de *composites* a cada 16-dias, com 250 m de resolução espacial.

Com o intuito de dar continuidade às observações obtidas pelo programa EOS, foi lançado em 2011 o *Suomi National Polar-orbiting Partnership* (Suomi NPP), um satélite meteorológico operado pelo programa NPOESS e a NASA. O Suomi NPP possui cinco sensores, sendo que o VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*) é o sensor que registra imagens da superfície terrestre nos intervalos do visível ao infravermelho e combina os melhores aspectos do NOAA AVHRR e do MODIS (HILLGER et al., 2013).

Na Europa também foram desenvolvidos programas de observação terrestre, como o programa SPOT (*Satellites Pour l'Observation de la Terre*), criado em 1978 pela França, em parceria com a Bélgica e a Suécia. Os primeiros três satélites do programa SPOT tinham os sensores HRV para geração de imagens nos intervalos do visível ao infravermelho com 20 m de resolução espacial. No SPOT 4 e 5, lançados em 1998 e 2002, foi desenvolvido o sensor VEGETATION, com o objetivo de monitorar e caracterizar a vegetação da superfície terrestre. Para dar continuidade ao programa VEGETATION, que parou de prover imagens em Maio de 2014, até o lançamento do satélite Sentinel-3 (programado para 2015-2016), foi lançado no dia 7 Maio de 2013 o satélite Belga PROBA-V (“V” de vegetação). O PROBA-V é um microssatélite desenvolvido para estudos da cobertura vegetal, com quatro bandas espectrais e resolução espacial de 100 m, 333 m e 1 km, com revisita diária nas latitudes de +75°N a 56°S e global a cada dois dias (STERCKX et al., 2013).

A existência de sensores em diversas escalas operacionais desde meados da década de 70 possibilita capturar a natureza complexa e dinâmica dos fenômenos da superfície terrestre (FLEMING, 2006). Estes provem um extensivo registro de imagens da superfície terrestre, sendo que a integração destas pode auxiliar a preencher lacunas na cobertura espacial e temporal (FENSHOLT et al., 2009). Por outro lado, a integração de dados de diferentes sensores ainda é um desafio, pois os instrumentos sensores apresentam diferenças significativas quanto às suas características espectrais, radiométricas, geométricas, espaciais e temporais (Tabela 1). Neste artigo busca-se avaliar o potencial de sinergia entre as imagens índice de vegetação Terra-MODIS e PROBA-V.

Tabela 1 – Características dos principais sensores de resolução espacial moderada.

Satélites / Sensores						
		NOAA AVHRR-3	SPOT VEGETATION	SUOMI NPP-VIIRS	Terra- MODIS	PROBA- V
Intervalo Espectral (nm)	Vermelho	580-680	610-680	662-682	620-670	615-694
	Largura Espectral	100	70	20	50	79
	Infravermelho Próximo	730-980	790-890	846-885	840-880	773-917
	Largura Espectral	250	100	39	40	144
Resolução Espacial		8 km e 4 km	1 km, 4 km, 8 km	750 m, 375 m	250 m, 500 m, 1 km	100 m, 333 m, 1 km
Resolução Radiométrica		10 bits	8 bits	12 bits	12 bits	12 bits
Resolução Temporal		1 dia	1 dia	12 h a 1 dia	12 h a 1 dia	1 dia
<i>Composites</i>		15-dias	10-dias	-	16-dias	10-dias
Ângulo de Visada		55,4	50,5	56	65	102

2.2. Metodologia

Para a análise comparativa das imagens NDVI foram selecionadas passagens diárias do PROBA-V (9 de Maio, 27 de Maio e 10 Junho de 2014) coincidentes com os *composites* de 16-dias do produto MOD13Q1. As imagens PROBA-V, em valores de reflectância absoluta, nos intervalos espectrais do vermelho (RED) e infravermelho próximo (NIR) foram utilizadas para calcular o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) para as três datas, conforme a equação 1.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Para cada imagem PROBA-V e MODIS foram extraídas 20 amostras sobre áreas de pastagens localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV) (SANTOS, 2014). A Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (área de 10.824,60 km²) está localizada no limite oeste do Estado de Goiás, entre os municípios de Goiás e Aruanã. Intersectam seus limites os municípios de Goiás, Aruanã, Matrinchã, Britânia, Jussara, Santa Fé de Goiás, Fazenda Nova, Novo Brasil, Buriti de Goiás, Faina e Itapirapuã (Figura 1).

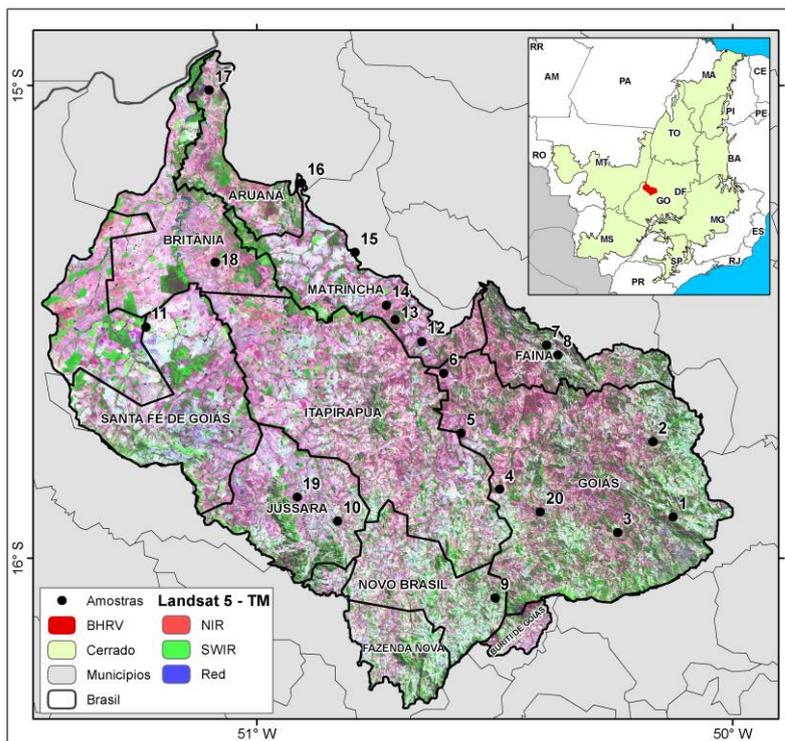


Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV) no Estado de Goiás e bioma Cerrado.

Com o intuito de reduzir erros oriundos das diferenças na resolução espacial entre os sensores PROBA-V e Terra-MODIS, foram utilizados *buffers* de 1 km entorno de cada amostra (total 20) e calculado a média dos valores de NDVI para cada data considerada. As análises tiveram por base o conjunto de amostras, levando-se em consideração as três datas disponíveis, bem como toda a área da bacia, especificamente para a data do dia 9 de Maio de 2014.

3. Resultados

As figuras 2a e 2b mostram a dispersão dos valores de NDVI do PROBA-V e Terra-MODIS e as respectivas diferenças para cada área de pastagem. Conforme observado na figura 2a, os valores de NDVI do PROBA-V e do MODIS tendem a ser bastante próximos, com correlação de 0,69. Nota-se que na sua maioria os valores de NDVI para as 20 áreas de pastagem estão abaixo da reta 1:1, indicando maiores valores de NDVI para o PROBA-V, com exceção de três áreas de pastagem, duas com valores de NDVI acima (maior valor de NDVI para o MODIS) e uma com valor de NDVI bem abaixo da reta (Figura 2a). Observa-se uma ligeira tendência de saturação, com maior variação dos valores de NDVI do PROBA-V, provavelmente devido à sua maior resolução espacial (100 m), comparativamente ao sensor MODIS (250 m).

Em geral, as diferenças nos valores de NDVI entre PROBA-V e MODIS, para as 20 áreas de pastagens, não ultrapassam 0,1 (Figura 2b). As médias dos valores de NDVI apresentam maiores diferenças entre PROBA-V e MODIS para o dia 10 de Junho (0,69 e 0,57), seguido do dia 9 de Maio (0,70 e 0,65) e do dia 27 de Maio (0,66 e 0,62) (Figura 2b).

Observa-se que a propriedade com a maior dispersão em torno da reta 1:1 e a maior diferença (0,35) é a Fazenda Carandá (12), caracterizada por apresentar pastagem do tipo *Brachiaria Brizantha*, rebanho de gado de corte e área de 1258 hectares. As outras duas áreas de pastagem, que apresentam valores de NDVI acima da reta 1:1 e maior diferença nos valores de NDVI (0,18 e 0,12) situam-se na Fazenda Olaria (7) e Cubatão (8), sendo que estas

são áreas de pastagem natural com gado de leite. A propriedade que apresenta a menor diferença ($\sim 0,001$) nos valores de NDVI é a Fazenda Boca da Mata (17), a maior propriedade da BHRV juntamente com a Fazenda Jatobá (6) (área de 2904 hectares), com pastagem cultivada de *Brachiaria Humidicola*. As diferenças nos valores NDVI observadas para estes sensores se devem, além de uma variação de aproximadamente seis vezes no campo de visada, às distintas geometrias de aquisição e funções espectrais.

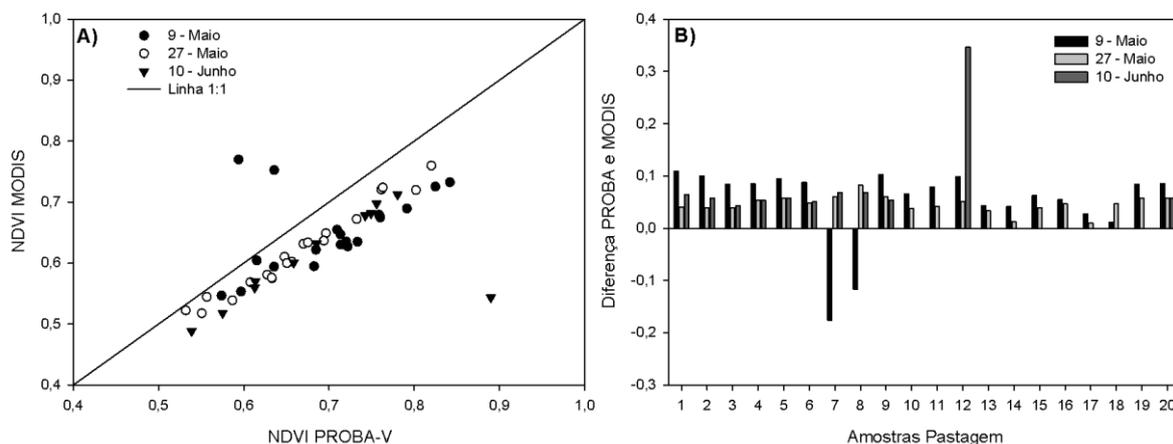


Figura 2 – a) Dispersão dos valores de NDVI de 20 propriedades na BHRV, b) Diferença dos valores de NDVI do PROBA-V e MODIS.

As figuras 3a e 3b mostram a variabilidade espacial dos valores de NDVI para toda a BHRV. Percebe-se que o padrão observado nas amostras se repete, com a predominância de valores acima de 0,76 para a imagem NDVI do PROBA-V, enquanto o MODIS apresenta valores de NDVI variando de 0,55 a 0,75. Percebe-se na figura 3b, maiores valores NDVI do PROBA-V (acima de 0,85) para as áreas de vegetação remanescente (figura 3c), do que para as áreas de pastagem. Considerando somente as áreas de pastagem na BHRV, conforme a figura 3d, os valores de NDVI do MODIS mostram uma distribuição mais restrita, de 0,5 a 0,8, e maior frequência em 0,65. Já o PROBA-V tem uma distribuição mais ampla, com valores variando de 0,5 a 0,9 e a maior frequência em 0,70. A maior frequência observada para todas as áreas de pastagem no dia 9 de Maio corresponde ao valor da média das 20 propriedades para este dia, com 0,65 para o MODIS e 0,70 para o PROBA-V, indicando que as 20 propriedades são representativas de toda a área de pastagem da BHRV.

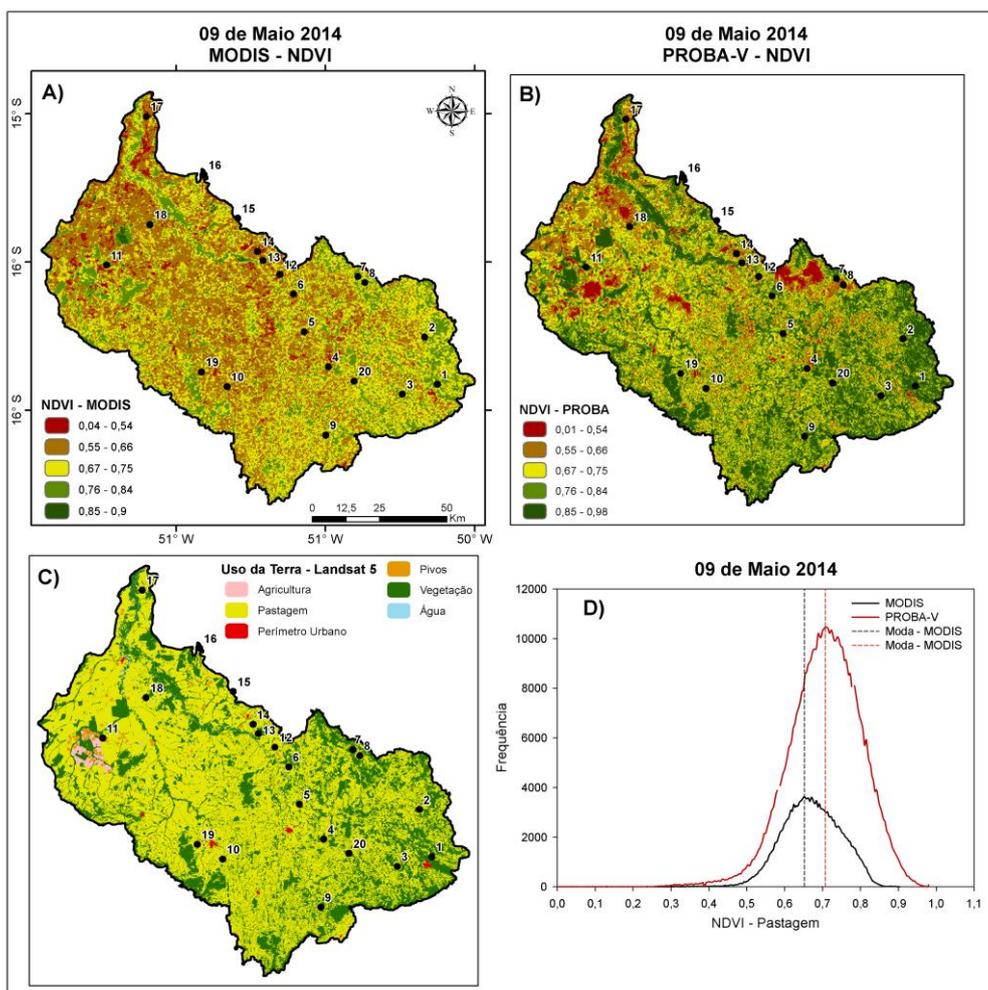


Figura 3 – a) Imagem NDVI do MODIS para o dia 09 de Maio de 2014, b) Imagem NDVI do PROBA-V para o dia 9 de Maio de 2014, c) Mapa de cobertura e uso da terra da BHRV ano 2008, d) Distribuição de frequência dos valores NDVI para as áreas de pastagem da BHRV para o dia 9 de Maio de 2014.

Conforme mencionado, as diferenças observadas nos valores de NDVI são, em parte, resultado das significativas discrepâncias nas funções de respostas espectrais existentes entre estes dois sensores. Em fato, a função de resposta espectral no intervalo do vermelho corresponde a um intervalo espectral maior para o PROBA-V (615-694 nm), comparativamente ao MODIS (620-670 nm), com largura espectral de 79 nm e 50 nm, respectivamente (Figura 4a). Observa-se o mesmo comportamento no intervalo do infravermelho próximo, com intervalo espectral de 773-917 nm e 840-880 nm e largura espectral de 144 nm e 40 nm para o PROBA-V e MODIS, respectivamente (Figura 4b). As bandas do vermelho e infravermelho próximo do MODIS são mais finas e não há sobreposição entre estas na banda de transição da vegetação. A banda do infravermelho próximo do MODIS está mais deslocada na região do infravermelho próximo se comparado ao do PROBA-V. A banda do vermelho do PROBA-V se estende ligeiramente acima do limite de 700 nm, causando impacto nos valores de reflectância do vermelho e no NDVI (Figura 4).

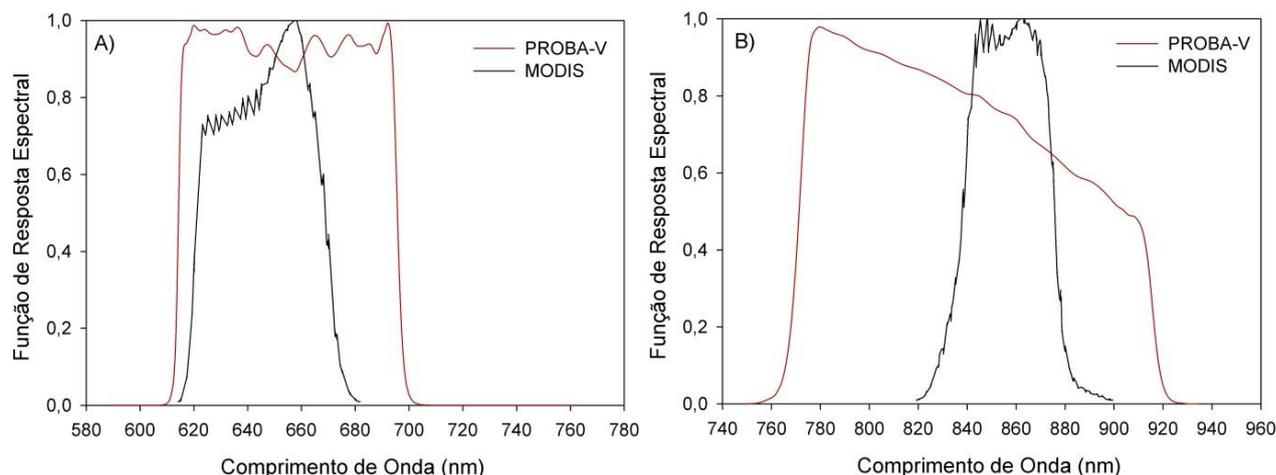


Figura 4 – a) Função de resposta espectral no intervalo do vermelho (RED), b) no intervalo do infravermelho próximo (NIR) do PROBA-V e MODIS.

4. Considerações finais

Os valores de NDVI do PROBA-V e do MODIS tendem a ser bastante próximos, com correlação de 0,69. Os valores de NDVI das 20 amostras de pastagem foram sistematicamente maiores para o PROBA-V se comparado ao MODIS, com exceção de três áreas de pastagem (12, 7 e 8). Observou-se uma ligeira tendência de saturação, com maior variação dos valores de NDVI do PROBA-V, provavelmente devido à sua maior resolução espacial (100 m vs. 250 m). Está maior variação também foi observada na imagem NDVI do PROBA-V e nos histogramas das áreas de pastagem da BHRV, cuja distribuição foi mais restrita para o MODIS (moda de 0,65) e mais ampla para o PROBA-V (moda de 0,70). As diferenças nos valores de NDVI, em geral, não ultrapassaram 0,1, com a maior diferença de 0,35 para a área de pastagem 12 e a menor (0,01) para a área de pastagem 17. Além de diferenças no campo de visada, estas discrepâncias também estão associadas às funções de respostas espectrais de cada sensor. Com base nestes resultados preliminares, bem como na perspectiva das imagens PROBA-V, com resolução espacial de 100m, virem a ser disponibilizadas gratuitamente a partir de 2015, a continuidade deste estudo prevê o desenvolvimento de equações de translação, com vistas à efetiva integração dos novos dados PROBA-V com os dados Terra-MODIS (com disponibilidade prevista até ao menos 2019). Especificamente em relação às áreas de pastagens, uma maior disponibilidade efetiva de observações com boa qualidade radiométrica é essencial para o monitoramento de parâmetros biofísicos, associados, entre outros, à diferentes níveis de produtividade e/ou degradação.

Agradecimentos:

Este trabalho se insere no âmbito das várias iniciativas do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais da Universidade Federal de Goiás, voltadas à gestão territorial e ambiental no Brasil. Os autores Arielle Elias Arantes, Silvio Braz de Sousa e Laerte Guimarães Ferreira são bolsistas do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq / mestrado, doutorado e PQ IC, respectivamente).

Referências

Buheaosier, Tsuchiya, K.; Kaneko, M.; Sung, S. J. Comparison of Image Data Acquired with AVHRR, MODIS, ETM+ and ASTER over Hokkaido, Japan. **Advance Space Research**, v. 32, n. 11, p. 2211-2216, 2003.

Fensholt, R.; Rasmussen, K.; Nielsen, T. T.; Mbow, C. Evaluation of earth observation based long term vegetation trends – Intercomparing NDVI time series trend analysis consistency of Sahel from AVHRR GIMMS, Terra MODIS and SPOT VGT data. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 1886-1898, 2009.

Fleming, D. J. **Effects of Relative Spectral Response on Multi-Spectral Measurements and NDVI from Different Remote Sensing Systems**. 2006. Tese (Doutorado em Filosofia) – University of Maryland, Maryland, Estados Unidos.

Hillger, D.; Kopp, T.; Lee, T.; Lindsey, D.; Seaman, C.; Miller, S.; Solbrig, J.; Kidder, S.; Bachmeier, S.; Jasmin, T.; Rink, T. First-Light Imagery from Suomi NPP VIIRS. **American Meteorological Society**, 2013.

Justice, C. O.; Vermote, E.; Townshend, J. R. G.; Defries, R.; 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.; Leeuwen, W. V.; 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**, v. 36, n. 4, 1998. 3

Myneni, R. B.; Tucker, C. J.; Asrar, G.; Keeling, C. D. Interannual variations in satellite-sensed vegetation index data from 1981 to 1991. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, v. 103, n.6, p. 6145–6160, 1998.

Santos, S. P. **Caracterização e Mapeamento Biofísico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho a Partir de Dados Remotamente Sensoriados**. 2024. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Estudos Sócio-Ambientais da Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

Sterckx, S.; Benhadj, I.; Duhoux, G.; Livens, S.; Dierckx, W.; Goor, E.; Adriaensen, S.; Heyns, W.; Hoof, K. V.; Strackx, G.; Nackaerts, K.; Reusen, I.; Achteren, T. V.; Dries, J.; Roey, T. V.; Mellab, K.; Duca, R.; Zender, J. The PROBA-V mission: image processing and calibration. **International Journal of Remote Sensing**, v. 35, n. 7, p. 2565-2588, 2014.

Tarnavsky, E.; Garrigues, S.; Brown, M. E. Multiscale geostatistical analysis of AVHRR, SPOT-VGT, and MODIS global NDVI products. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 535-549, 2008.

Teillet, P. M.; Staenz, K.; Williams, D. J. Effects of Spectral, Spatial, and Radiometric Characteristics on Remote Sensing Vegetation Indices of Forested Regions. **Remote Sensing of Environment**, v. 61, p. 139-149, 1997.

Townshend, J. R. G. & Tucker, C. J. Utility of AVHRR NOAA-6 and -7 for vegetation mapping. In: **Proceedings of the International Conference on Matching Remote Sensing Technologies and Their Applications**, pp. 97-109, 1981.

Tucker, C. J.; Pinzon, J. E.; Brown, M. E.; Slayback, D. A.; Pak, E. W.; Mahoney, R.; Vermote E. F.; Saleous, N. E. An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 2-, p. 4485-4498, 2005.