

## Mapeamento e identificação da época de desmatamento das áreas de expansão da agricultura no MATOPIBA

Carolina Lobello Lorensini<sup>1,2</sup>  
Daniel de Castro Victoria<sup>2</sup>  
Luiz Eduardo Vicente<sup>2</sup>  
Renan Pfister Maçorano<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Pontifícia Universidade Católica de Campinas – PUCCAMP  
Rodovia D. Pedro I, km 136 - 13086-900 - Campinas - SP, Brasil  
lorensini.carolina@gmail.com

<sup>2</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA/CNPM  
Av. Soldado Passarinho, 303 - 13070-115 - Campinas - SP, Brasil  
{daniel.victoria, luiz.vicente}@embrapa.br

<sup>3</sup> Universidade Estadual de Campinas - Unicamp  
Cidade Universitária Zeferino Vaz, CEP: 13083-970 - Campinas, SP – Brasil  
renanpfister@gmail.com

**Abstract.** The MATOPIBA region, in Brazil is becoming the next agricultural frontier, with good climate, soils and topography suitable for cash crops, with a rapid expansion of agriculture areas over the last decades. This work identifies the agricultural areas through the use of remote sensing and evaluates the time period in which these areas went through the deforestation process. Agricultural masks for the years 2006, 2008, 2010 and 2012 were created using MODIS NDVI time series, through the use of Fourier filtering and unsupervised classification methods. A comparison of the crop area mapped by this method with official crop statistics showed good agreement at both regional and municipal level. The crop masks were then used to identify the new agricultural areas (expansion between time periods) that were overlaid with a deforestation monitoring product for the Cerrado biome (PMDBBS). This allowed for the identification of the deforestation period of the new agricultural areas. Results show that, for the new agricultural areas established from 2006 to 2008, 45% was deforested prior to the year 2002 and 53% was deforested between 2002 and 2008. For the expansion that occurred between 2010 and 2012, 54% of the area was deforested prior to 2002 and 34%, between 2002 and 2008. This shows that new agricultural areas in MATOPIBA are utilizing areas that had already gone through some form of anthropization process.

**Palavras-chave:** expansão agrícola, series temporais, MODIS, NDVI, agricultural expansion, time series

### 1. Introdução

A região do MATOPIBA ganhou importância no setor agropecuário brasileiro e se tornou nos últimos anos uma grande fronteira agrícola do Brasil. A topografia plana, os solos profundos e o clima favorável ao cultivo das principais culturas de grãos e fibras possibilitaram o crescimento vertiginoso da região (Borghi et al., 2014). A região está localizada no bioma Cerrado, que mostra grande complexidade para o mapeamento, pois tem uma grande extensão territorial, ocupação humana e sazonalidade da vegetação, o que causa desordem espectral entre as classes temáticas, como as formações gramíneo-lenhosas e pastagens (Sano et al., 2007).

A produção de grãos no MATOPIBA será fator de segurança alimentar para o Nordeste, devastado por secas que matam plantas e animais de fome, sendo assim essenciais para manter a produção animal, como ovos, carnes de frango e de suínos e leite. A região ganha com o desenvolvimento regional mais equilibrado, gerando mais empregos e renda para a população local (Lopes, 2014).

Números do IBGE mostram o desenvolvimento agrícola na região. De acordo com a Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2014), a área plantada de algodão, milho e soja, nas

mesoregiões que compõem região do MATOPIBA, era de 543.292 ha em 1990. No ano 2000, a área plantada era 1.229.185 ha e, em 2010, aumentou para 2.718.807 ha. Isso mostra que a região teve um crescimento intenso em 20 anos, de 400%.

O mapeamento remoto de áreas agrícolas é uma atividade importante, pois permite avaliar a expansão e realizar o monitoramento da produção. Dentre os sensores aptos a esse tipo de aplicação, destaca-se sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), que já foi utilizado para identificar culturas agrícolas, tipos de formação florestal e a detecção de mudanças de uso e cobertura da terra (Jakubauskas et al., 2002; Lacruz; Santos, 2007; Yu et al., 2004). Outros sensores remotos podem ser utilizados para monitorar o uso e cobertura da terra, como o sensor TM, usado no PMDBBS, “Projeto de Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite”, executado pelo Centro de Sensoriamento Remoto do Ibama com o intuito de quantificar desmatamentos de áreas com vegetação nativa (MMA, 2014; IBAMA, 2014).

Esse trabalho teve como objetivo avaliar a expansão da agricultura do bioma Cerrado na região do MATOPIBA, através de máscaras agrícolas geradas a partir das séries temporais de índice de vegetação NDVI do sensor MODIS, e identificar a época em que ocorreu o desmatamento das áreas de expansão, utilizando os mapas de área antropizada do Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite (PMDBBS).

## 2. Metodologia de Trabalho

O estudo foi realizado na área do bioma Cerrado, na região do MATOPIBA (Figura 1), que inclui as mesoregiões: Sul Maranhense (MA), Oriental do Tocantins (TO), Sudoeste Piauiense (PI) e Extremo Oeste Baiano (BA).

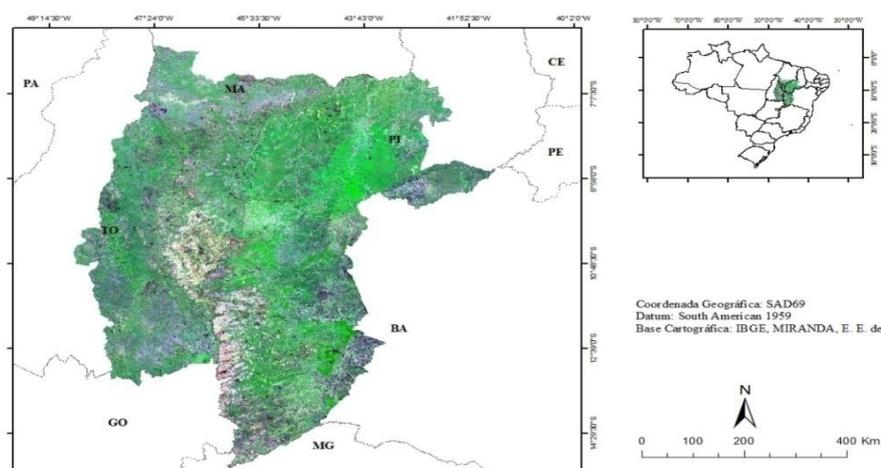


Figura 1. Localização da região do MATOPIBA.

Foram utilizadas imagens do índice de vegetação *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) do sensor MODIS. Estas são disponibilizadas na forma de produtos com correção geométrica e radiométrica (MOD13Q1), em composições temporais de 16 dias, com resolução espacial de 250 m. Ou seja, para cada período de 16 dias, são geradas imagens utilizando dados das melhores datas, levando-se em consideração a qualidade da imagem como presença de nuvens, ângulo de inclinação, correção radiométrica (Justice; Townshend, 2002). Estas são distribuídas gratuitamente pelo *Land Processes Distributed Active Archive Center* – LP DAAC – ([https://lpdaac.usgs.gov/get\\_data](https://lpdaac.usgs.gov/get_data)), em formato hdf e foram convertidas para o formato GeoTiff e sistema de coordenadas geográficas.

As imagens, referente aos anos 2006, 2008, 2010 e 2012, foram organizadas de acordo com o calendário agrícola, com início em julho do ano anterior à colheita até junho do ano da

colheita, totalizando 23 imagens por ano. Ou seja, para o ano de 2006 foram utilizadas imagens de julho de 2005 (dia do ano 193) a junho de 2006 (dia do ano 177).

Contaminações causadas por nuvens ou valores duvidosos na série temporal foram filtradas por um procedimento de remoção dos mínimos locais. Em seguida, foi feita a análise harmônica de Fourier, que permitiu extrair de uma série temporal os componentes das diferentes frequências que compõem o sinal, representados por pares de valores de amplitude e fase que descrevem cada componente (Victoria et al., 2012).

Depois da análise harmônica, foram extraídas as amplitudes dos primeiros quatro componentes harmônicos que, no caso de uma série anual, representam o valor médio anual e as variações com frequência anual, semestral e trimestral. As imagens de amplitude da análise de Fourier foram utilizadas em uma classificação não supervisionada, a partir da função *isocluster*, com identificação de dez classes. Nessa análise, áreas agrícolas destacam-se em relação a outras coberturas vegetais por apresentar forte variação do NDVI em curto período de tempo.

Foi feita uma análise visual a fim de identificar as classes correspondentes ao uso agrícola e uma limpeza manual para a remoção de pequenas áreas isoladas, identificadas como agricultura. Também foram utilizados como dados auxiliares as séries temporais de índices de vegetação EVI2/MODIS disponibilizadas no endereço <https://www.dsr.inpe.br/laf/series>, uma ferramenta online que permite a visualização de séries temporais MODIS para análise de mudança de uso e cobertura da terra (Freitas et al., 2011).

Por fim, foram identificadas as áreas de expansão agrícola entre os anos avaliados, que foram cruzados com o mapeamento das áreas antropizadas, oriundo do PMDBBS, que identifica o período em que cada área antropizada no bioma foi aberta: antes de 2002, entre 2002 e 2008, entre 2008 e 2009 e entre 2009 e 2010 (além de algumas áreas que foi possível apenas determinar que a abertura foi antes de 2008 ou antes de 2009). Isso permitiu avaliar a época em que as áreas destinadas à expansão agrícola passaram por processo de antropização.

### 3. Resultados e Discussão

O método de classificação não supervisionada, utilizando os perfis temporais de NDVI aplicado às imagens de amplitude anual, semestral e trimestral para os diferentes anos, destacou as áreas agrícolas da região de MATOPIBA, as quais foram agrupadas em uma classe no processo de classificação não supervisionada. Esse procedimento otimizou o mapeamento das áreas agrícolas, porém, uma limpeza manual ainda se mostrou necessária para a eliminação de áreas com corpos d'água. A figura 2 mostra uma das áreas nos municípios de Balsas (MA) e Riachão (MA), no ano de 2012, com as áreas agrícolas identificadas de forma automática pela metodologia aqui aplicada.

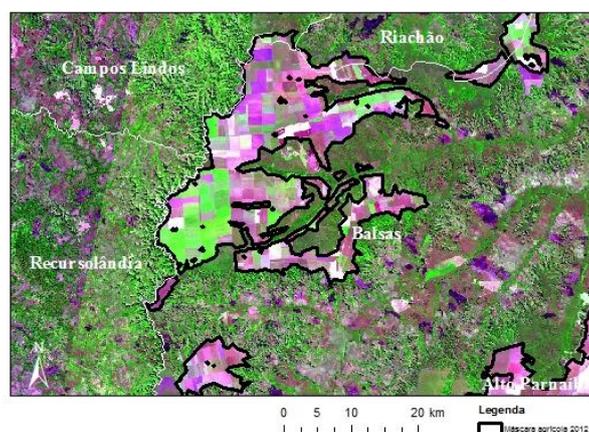


Figura 2. Máscara agrícola gerada a partir da metodologia.

Dessa forma foi possível identificar toda área agrícola da região, verificando a expansão agrícola nos anos de 2006, 2008, 2010 e 2012. As máscaras agrícolas são representadas na figura 3.

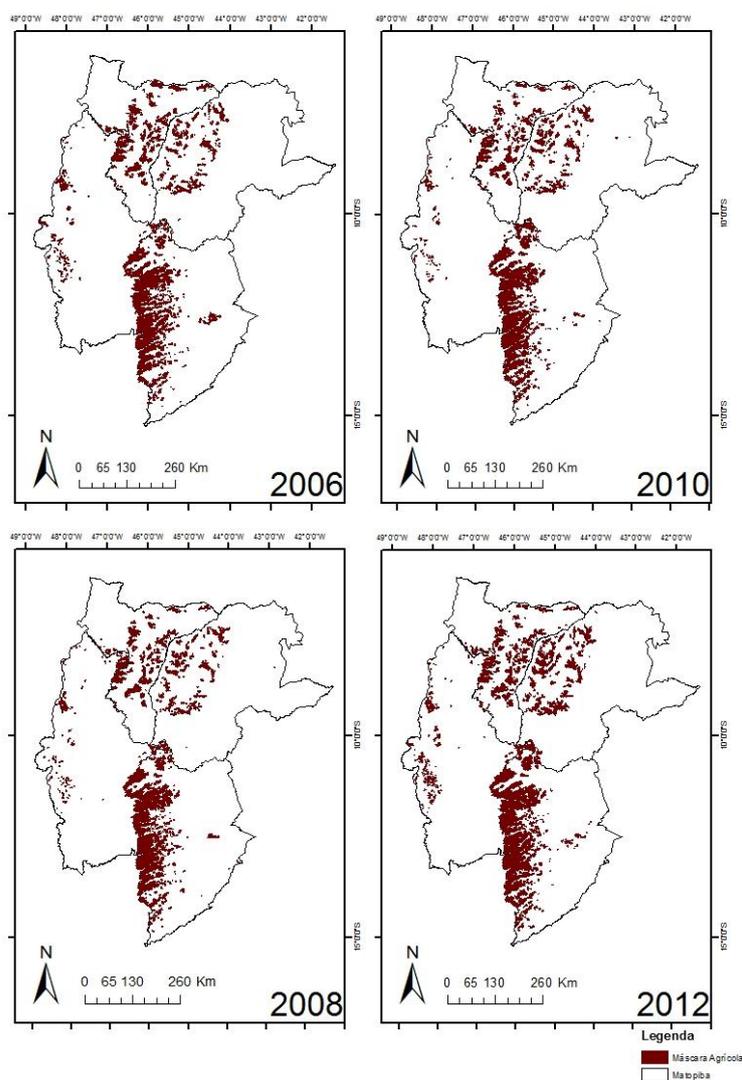


Figura 3. Máscaras agrícolas da região do MATOPIBA.

No ano de 2006, dados da Produção Agrícola Municipal (PAM, IBGE) mostram que na região do MATOPIBA, a área plantada de soja, milho (1ª safra) e algodão foi de 2.103.971 ha, enquanto o mapeamento por sensoriamento remoto identificou 2.342.227 ha. Também foram comparados os dados municipais de área plantada (IBGE) com a área mapeada pelo sensor MODIS, o que resultou em uma regressão com  $R^2 = 0.86$ . Para os outros anos, 2008, 2010 e 2012, houve um crescimento na área plantada de soja, milho e algodão, segundo o PAM, para 2.343.125 ha, 2.577.172 ha e 3.262.141 ha, respectivamente. Este crescimento também foi identificado no mapeamento a partir dos dados de sensoriamento remoto, com área plantada de 2.318.578 ha, 2.443.838 ha e 2.941.310 ha (Figura 4). A regressão entre a área plantada municipal estimada pelo IBGE e identificada neste trabalho nos diferentes anos (Figura 5) resultou em elevados coeficientes de determinação  $R^2 = 0.9$ ,  $R^2 = 0.95$  e  $R^2 = 0.90$ .

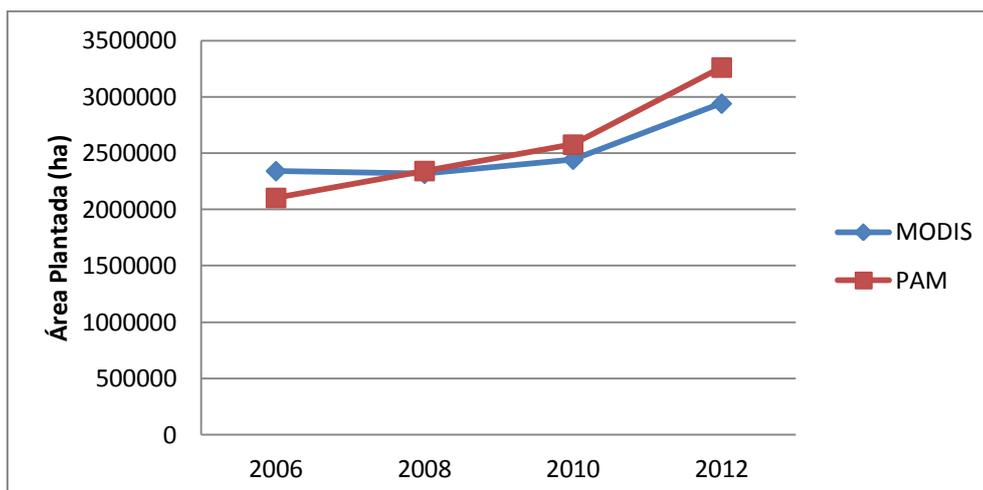


Figura 4. Estimativa de área agrícola nos anos de 2006, 2008, 2010 e 2012.

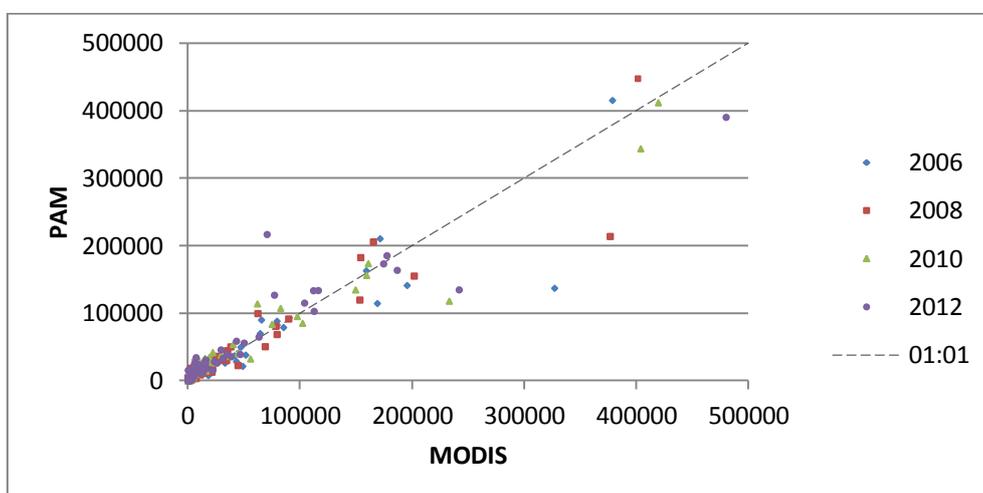


Figura 5. Comparação dos dados do sensor MODIS e dados do PAM considerando a classificação de uso da terra do MATOPIBA.

Comparando as máscaras agrícolas com os mapas do PMDBBS, foi possível identificar a época em que as áreas de expansão da agricultura foram antropizadas (Tabela 1). Foram identificadas algumas inconsistências no cruzamento, como pequenas porcentagens de áreas agrícolas mapeadas em locais com data de antropização posterior ao estabelecimento da agricultura. Estes problemas podem ter ocorrido devido à diferença de resolução espacial entre MODIS (250m) e o PMDBBS, gerado a partir do Landsat TM5 (30m). No entanto, foi possível identificar algumas tendências. A expansão agrícola observada entre os anos de 2006 a 2008 ocorreu principalmente em áreas antropizadas anterior a 2008, sendo que 45% das novas áreas agrícolas estabelecidas no período foram desmatadas antes de 2002. Já as novas áreas agrícolas estabelecidas entre 2010 e 2008 ocuparam principalmente áreas desmatadas antes de 2008 (91,6%), com 47,4% das áreas tendo sido antropizadas antes de 2002. Apenas 5,5% das áreas agrícolas estabelecidas entre 2008 e 2010 ocorreram em locais antropizados entre os anos 2008 e 2009. Já para as novas áreas agrícolas estabelecidas entre 2010 e 2012, também é possível observar ampla utilização de terras antropizadas antes de 2002 (53,6%), ou entre 2002 e 2008 (34,5%), enquanto que uma menor porcentagem das novas áreas foram provenientes de locais antropizados após o ano de 2009 (7,6%). Estas análises indicam que a expansão das áreas agrícolas no MATOPIBA vem ocupando locais previamente antropizados.

Tabela 1. Percentual da área expansão da agricultura em relação à época que passaram pelo processo de antropização.

Período	Máscaras agrícola		
	2008-2006	2010-2008	2012-2010
<b>Antes de 2002</b>	45,0%	47,4%	53,6%
<b>Entre 2002 e 2008</b>	53,4%	44,2%	31,5%
<b>2008 e 2009</b>	0,7%	5,5%	5,9%
<b>2009 e 2010</b>	0,3%	1,3%	7,6%
<b>Antes de 2008</b>	0,0%	0,0%	0,0%
<b>Antes de 2009</b>	0,7%	1,6%	1,4%

#### 4. Conclusão

A metodologia usada no trabalho mostrou eficiência para mapeamento de grandes áreas gerando máscaras agrícolas para os anos de 2006, 2008, 2010 e 2012 e auxiliando na verificação da expansão de uso região do MATOPIBA.

O cruzamento das máscaras agrícolas com os mapas de desmatamento permitiu identificar que grande parte da expansão da agricultura ocorreu em locais previamente desmatados, indicando a utilização de áreas já antropizadas.

Denota-se que os métodos propostas na classificação MODIS foram eficientes, rápidos e de baixo custo computacional, podendo ser aplicando para diversos outros locais.

#### Agradecimentos

Ao CNPq, pela bolsa PIBIC concedida, e à Embrapa Monitoramento por Satélite, pela oportunidade de estágio. À equipe da Embrapa Monitoramento por Satélite, sobretudo vinculados aos projetos: “Integração de dados multisensor e espectroscopia de reflectância aplicados ao mapeamento de alvos estratégicos da agricultura tropical – Agspec” (SEG Embrapa - 02.11.01.019.00.00) e "Classificação e espacialização de sistemas de produção de grãos no Brasil com o uso de sensoriamento remoto – Fluxus” (SEG Embrapa - 01.11.01.002.05.00), pelo apoio e orientação.

#### Referências

BORGHI, E.; BORTOLON, L.; AVANZI, J. C.; BORTOLON, E. S. O.; UMMUS, M. E.; GONTIJO NETO, M. M.; COSTA, R. V. da Desafios das novas fronteiras agrícolas de produção de milho e sorgo no Brasil: desafios da região do MATOPIBA. In: KARAM, D.; MAGALHÃES, P. C. (Ed.). **Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo**, 2014. cap. 25, p. 263-278. P. 263-278.

FREITAS, R. M. D.; ARAI, E.; ADAMI, M.; FERREIRA, A. S.; SATO, F. Y.; SHIMABUKURO, Y. E.; ROSA, R. R.; ANDERSON, L. O.; RUDORFF, B. F. T. Virtual laboratory of remote sensing time series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. **Journal of Computational Interdisciplinary Sciences**, v.2, p. 57-68, 2011.

IBAMA. **Projeto de Monitoramento do desmatamento dos biomas brasileiros por satélite**. Cerrado. Disponível em < <http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/cerrado> > Acesso em: 22 set 2010.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 out 2014.

LACRUZ, M. P.; SANTOS, J. R. Monitoramento da paisagem de unidades de conservação. In: RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. (Org.). **O sensor MODIS e suas aplicações no Brasil**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007. cap. 13, p.173-183.

JAKUBAUSKAS, M. E.; LEGATES, D. R.; KASTENS, J. H. Crop identification using harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data. **Computers and Electronics in Agriculture**, Maryland Heights, USA, v. 37, p. 127-139, 2002.

JUSTICE, C.; TOWNSHEND, J. Special issue on the moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): a new generation of land surface monitoring. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 1-2, 2002.

LOPES, M. A. **Matopiba, a nova ousadia da agricultura brasileira**. Disponível em < <https://www.embrapa.br/web/portal/busca-de-noticias/-/noticia/1705609/matopiba-a-nova-ousadia-da-agricultura-brasileira> > acesso 4 nov 2014.

MIRANDA, E. E. de (Coord.). **Coleção Brasil visto do espaço: Maranhão**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite; Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2001. 1 CD-ROM (Coleção Brasil Visto do Espaço)

MMA. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/> > Acesso 30 out 2014.

SANO, E.E.; FERREIRA, L.G.; ASNER, G.P.; STEINKE, E.T. Spatial and temporal probabilities of obtaining cloud-free Landsat images over the Brazilian tropical savanna. **International Journal of Remote Sensing**, v.28, p.2739-2752, 2007.

VICTORIA, D. de C.; PAZ, A. R. da; COUTINHO, A. C.; KASTENS, J.; BROWN, J. C. Cropland area estimates using Modis-NDVI times series in the state of Mato Grosso, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1270–1278, nov. 2012.

YU, X.; ZHUANG, D.; CHEN, H.; HOU, X. Forest classification based on MODIS time series and vegetation phenology. In: GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, Anchorage, USA, 20 a 24 de setembro 2004. IGARSS '04. **Proceedings...** Ann Arbor, USA: IEEE. Set 2004. vol.4, pp. 2369-2372.