

Identificação de áreas agrícolas na fronteira Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia

Thamyres Caetano Albino ^{1,2}
Daniel de Castro Victoria ²
Gustavo Bayma Siqueira da Silva ²
Mateus Batistella ²

¹ Universidade Estadual de Campinas - Unicamp
Cidade Universitária Zeferino Vaz, CEP: 13083-970 - Campinas, SP – Brasil
thamyres@cnpn.embrapa.br

² Embrapa Monitoramento por Satélite
Av. Soldado Passarinho, 303 - 13070-115 - Campinas - SP, Brasil
{daniel, bayma, mb}@cnpn.embrapa.br

Abstract. The increase in demand for food and agricultural products has led to an expansion of agricultural areas in Brazilian lands over the last decade, notably the region between the states of Maranhão, Piauí, Tocantins and Bahia. In order to evaluate and map such expansion, cropland mask from 2001 to 2007 were created based on remote sensing images. The production cycle of grain crops, with its rapid development and harvest, results in a strong seasonal signal that can be identified in time series of vegetation index images. Annual time series of the Enhanced Vegetation Index from MODIS sensor were analyzed and Fourier transforms were applied to each multitemporal image in order to isolate the annual and 6-month variation in the vegetation cover, typical of short cycle agricultural crops. Results were compared to official planted area statistics for the microregions encompassed in the study area. Both cropland masks and official statistics showed a strong increase in croplands. However, the cropland mask generated underestimated total planted area in 20%. These differences could be due to the account of double season crops in the planted area statistics or to a confusion caused by the Caatinga vegetation, which shows a strong seasonal vegetation cycle similar to the pattern observed in grain crops.

Palavras-chave: MODIS, time series, Fourier, séries temporais.

1. Introdução

Segundo o Banco Mundial (2010), a expansão da produção agrícola mundial e, em consequência, as transações relacionadas à posse da terra ocorrem devido: a) à demanda por alimentos, ração, celulose e outros insumos industriais, em consequência do aumento populacional e da renda; b) à demanda por matérias-primas para os biocombustíveis (reflexo das políticas e procura dos principais países consumidores) e c) ao deslocamento da produção de commodities agrícolas para regiões com terra abundante, mais barata e com boas possibilidades de crescimento da produtividade, como é o caso do Brasil e de toda a América Latina (BORRAS et al., 2011). Na última década, verificou-se uma vigorosa expansão da fronteira agrícola, incorporando áreas localizadas nos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins (o “Mapito”), a Bahia, e outras inscritas na região Amazônica (HECHT, 2005). Esse processo de crescimento segue uma perspectiva global, pois, segundo estimativas do Banco Mundial (2010), em torno de 23% do crescimento agrícola mundial se deram em função da expansão das fronteiras agrícolas, apesar de que o aumento mais expressivo (cerca de 70%) da produção é resultado do incremento da produtividade física.

O monitoramento das culturas agrícolas tem sido realizado, em diversos estudos, por meio de índices de vegetação como o NDVI (do inglês *Normalized Difference Vegetation Index*) ou EVI (*Enhanced Vegetation Index*). De acordo com Deppe et al. (2007), a utilização das imagens NDVI permite o monitoramento do desenvolvimento fenológico das culturas, para obter avaliações qualitativas e quantitativas dos plantios em períodos anteriores às safras.

Em estudos multitemporais, o emprego de imagens adquiridas ao longo do ciclo de crescimento e desenvolvimento das culturas pode apontar diferenças quanto à época de semeadura e/ou manejo, servindo de base para a distinção dos perfis temporais de índices de vegetação.

A variação temporal de índices de vegetação observados nas culturas agrícolas também é utilizada para a identificação de áreas com plantio. Diversos autores utilizam métodos distintos para tratar e classificar as séries temporais para identificação de plantios agrícolas, baseando-se em transformações de Fourier (Jakubauskas et al, 2002; Victoria et al, 2012), filtragens wavelet e árvores de decisão (Morton et al, 2006; Galford et al, 2008), superfícies espectro-temporais (Rudorff et al., 2007), dentre outros.

O objetivo desse trabalho foi identificar extensas áreas com plantio agrícola (máscaras agrícolas) através dos perfis temporais de EVI obtidos do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) de áreas agrícolas estabelecidas durante o período de 2001 a 2007 na fronteira entre os estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia, incluindo as seguintes microrregiões: Extremo Oeste Baiano; Sudoeste Piauiense; Sul Maranhense; e Oriental do Tocantins.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo localiza-se entre as coordenadas 05° e 12° de latitude sul e 42° e 51° de longitude oeste, compreendendo as seguintes microrregiões: Extremo Oeste Baiano; Sudoeste Piauiense; Sul Maranhense; e Oriental do Tocantins (Figura 1). Esta região vem experimentando um forte aumento de área agrícola nos últimos anos.

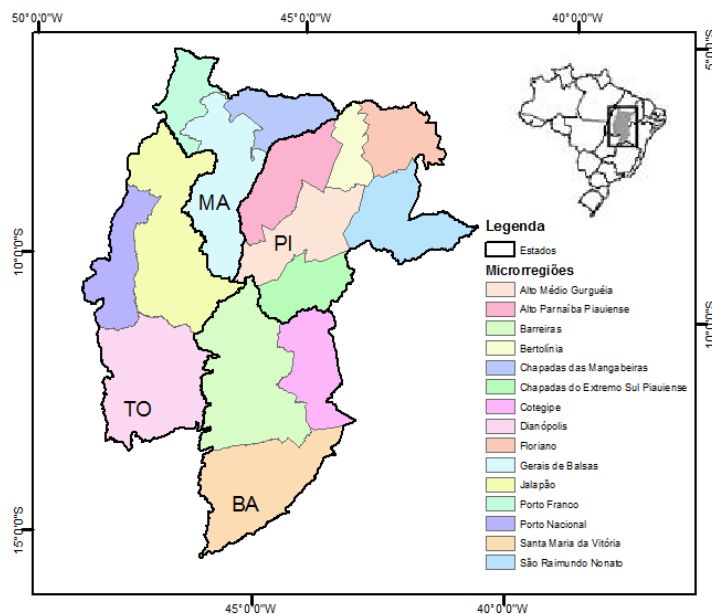


Figura 1. Microrregiões da área de estudo

Foram empregadas imagens EVI provenientes do sensor MODIS, oriundas do produto MOD13Q1, referentes aos anos 2001 a 2007. O produto MOD13Q1 fornece imagens temporais compostas de 16 dias, com reduzida contaminação por nuvens dos índices de vegetação NDVI e EVI. Além disso, os produtos MODIS são disponibilizados gratuitamente, com correção geométrica e radiométrica, pelo “*Land Processes Distributed Active Archive Center – LP DAAC*” (https://lpdaac.usgs.gov/get_data). O processamento da série temporal de EVI seguiu os procedimentos detalhados em Victoria et al. (2012). As imagens compostas de 16 dias foram convertidas de seu formato nativo (hdf) para GeoTiff, com coordenadas geográficas. Em seguida, estas foram empilhadas de acordo com o calendário agrícola anual,

com início em 12 de julho do ano anterior e término em 11 de julho do ano da colheita. Por exemplo, para a colheita de 2004 a imagem multitemporal se inicia em 12/7/2003 e termina em 11/7/2004. Tal procedimento resultou em imagens multitemporais anuais, com 23 bandas cada. Contaminações causadas por nuvens ou valores duvidosos na série temporal foram filtradas por um procedimento de remoção dos mínimos locais. Este se baseia no fato de que contaminações nas imagens de EVI, principalmente por nuvens, resultam em valores mais baixos.

A transformação de Fourier decompõe um sinal observado ao longo do tempo em uma série de termos harmônicos, cada um descrito por uma amplitude e fase (Jakubauskas et al., 2002). Tais termos estão relacionados às diferentes frequências de variação observadas no sinal. No caso de uma série com comprimento de um ano, o primeiro componente harmônico representa frequência anual do sinal, o segundo a frequência semestral e assim por diante. Durante o processamento também é obtida a média anual do índice de vegetação, extraída no componente 0 da análise harmônica.

Realizada a análise harmônica das imagens multitemporais dos anos safra 2001 a 2009, foram geradas as imagens de amplitude dos três primeiros componentes harmônicos, representando o valor médio e as variações com frequência anual e semestral. Sobre estas imagens foi realizada uma classificação não supervisionada, a partir do algoritmo Isodata. Esse algoritmo avalia o espaço multiespectral e agrupa iterativamente os pixels em torno das médias das classes, cujo número é definido pelo usuário (Weber, 2005). Neste estudo estabeleceu-se um máximo de 15 classes, sendo a área mínima de 5 pixels. A forte diferença da variação temporal do EVI de áreas agrícolas, em relação a outras coberturas vegetais, faz com que estas sejam classificadas em classes distintas. Por fim, uma inspeção visual das imagens classificadas foi realizada a fim de identificar quais classes correspondiam às áreas agrícolas. Também foi realizada durante esta etapa uma limpeza nas áreas identificadas como agricultura, removendo locais com pixels isolados ou áreas muito pequenas, classificadas equivocadamente.

A verificação da área mapeada como agricultura pelo método descrito foi realizada através da comparação com a área plantada com culturas agrícolas temporárias e apenas com a cultura da soja, nas diferentes microrregiões do IBGE, de acordo com dados da Produção Agrícola Municipal - PAM (IBGE, 2012).

3. Resultados e Discussão

O método de classificação utilizando os perfis temporais de EVI do sensor MODIS destacou-se na identificação de áreas agrícolas com grandes extensões, como é o caso das microrregiões de Barreiras e Santa Maria da Vitória, no oeste da Bahia; Gerais de Balsas e Chapada das Mangabeiras, no sul do Maranhão; e Alto Parnaíba Piauiense, no Piauí. A Figura 2 mostra a máscara agrícola para essas microrregiões, obtida a partir do sensor MODIS para o ano de 2005, que apresenta a maior proximidade com os dados disponibilizados pelo IBGE. É possível notar que grandes áreas agrícolas na região de estudo foram identificadas.

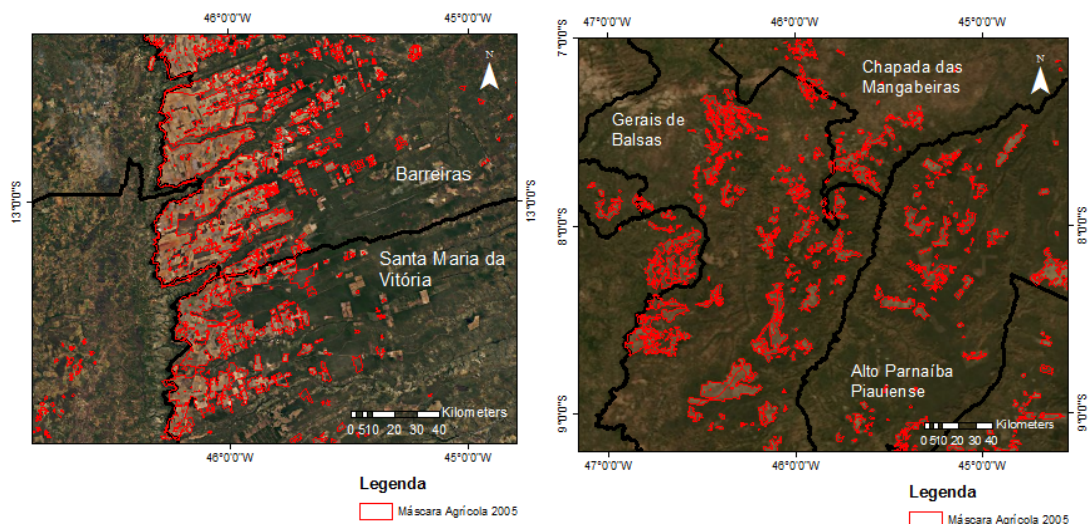


Figura 2. Máscara agrícola MODIS para a safra de 2005 (em vermelho) sobreposta a imagens de alta resolução espacial do catálogo Bing Aerial Maps.

As áreas identificadas nas imagens de 2001 a 2007 (Figura 3) mostram o crescimento da atividade agrícola na região, principalmente na porção norte da área de estudo, nos estados do Maranhão e Piauí. Dados da PAM (IBGE, 2012) mostram que a área plantada com culturas agrícolas temporárias nestas microrregiões nos dois estados aumentou consideravelmente entre 2001 e 2007, 114% no PI e 50% no MA.

A comparação entre os mapas gerados e a área agrícola total divulgada pelo IBGE mostra que, em média, o mapeamento realizado pelo sensor MODIS estimou 80,6% da área total plantada e superestimou a área plantada de soja em 22% (Tabela 1). Excetuando-se os anos de 2001, 2002 e 2007, a área mapeada apresentou diferenças menores ou iguais a 20% da quantificada pelo IBGE. A tabela também mostra que existe boa correlação entre a área agrícola mapeada ao longo dos anos com a área plantada de soja ($r^2 = 0,72$) e área total ($r^2 = 0,73$). Isso indica que, apesar das diferenças entre a área agrícola mapeada e as estatísticas do IBGE estarem em torno de 20%, os dados obtidos por sensoriamento remoto captaram bem o crescimento das áreas agrícolas da região (Figura 4).

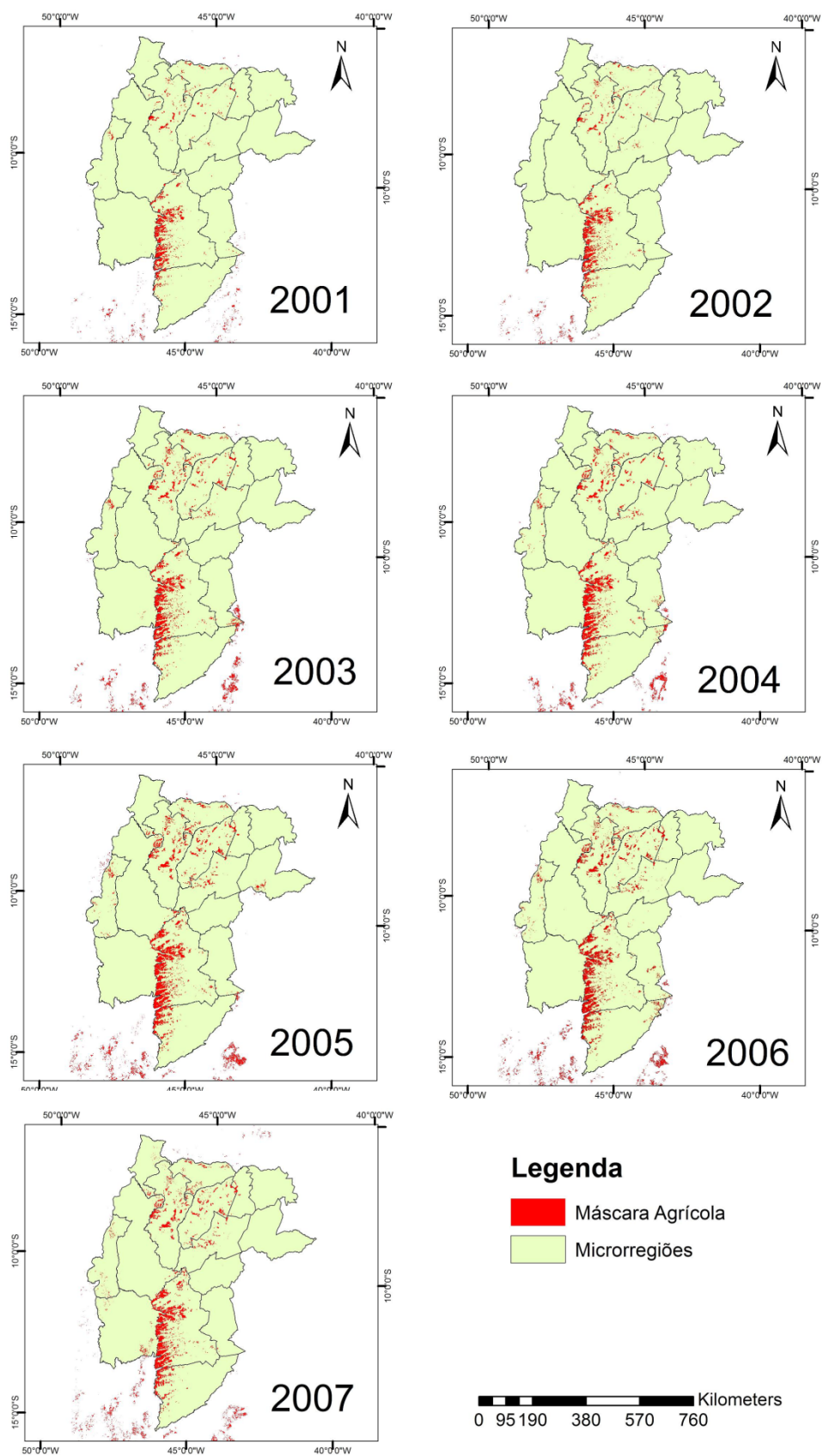


Figura 3. Máscara agrícola dos anos de 2001 a 2007 da área de estudo

Tabela 1. Áreas agrícolas mapeadas pela classificação MODIS e áreas com plantio de soja e total segundo IBGE de 2001 a 2007.

Ano	Área MODIS (ha)	Área soja IBGE (ha)	Modis / IBGE Soja (%)	Área total IBGE (ha)	Área MODIS/IBG E (%)
2001	1 027 584	1 014 465	101,3	1 614 395	63,7
2002	1 149 301	1 198 558	95,9	1 763 657	65,2
2003	1 679 534	1 331 292	126,2	1 926 766	87,2
2004	2 344 072	1 449 135	161,8	2 228 216	105,2
2005	2 124 932	1 629 675	130,4	2 471 409	86,0
2006	1 994 226	1 652 176	120,7	2 442 321	81,7
2007	1 889 605	1 605 264	117,7	2 495 906	75,7
Média	1 744 179	1 411 509	122,0	2 134 667	80,6
r ²		0.72		0.73	

A Figura 4 mostra que o crescimento na área plantada entre os anos de 2001 e 2005, de acordo com os dados do IBGE, é observado nos mapeamentos realizados a partir das imagens MODIS. A estabilização da área plantada entre 2005 e 2007, indicada pelos dados do IBGE, aparece como uma redução da área plantada na máscara agrícola MODIS.

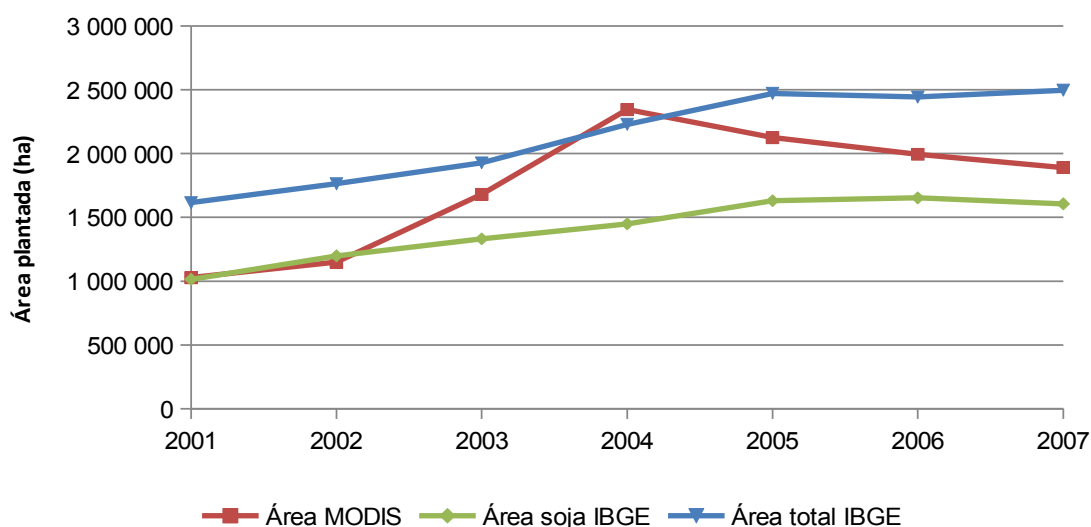


Figura 4. Crescimento da área agrícola na região de estudo estimado pela classificação MODIS e dados de área plantada de soja e total de culturas temporárias do IBGE

Uma das dificuldades em se comparar dados de área plantada mapeados por sensoriamento remoto com dados tabulares reside no fato de que algumas áreas apresentam dois cultivos agrícolas em um mesmo ano. Assim, algumas áreas agrícolas podem ser contabilizadas duas vezes nas estatísticas de área total plantada, o que não se reflete na máscara agrícola MODIS. Uma inspeção mais detalhada, a partir de pontos de controle e contabilização dos erros de inclusão e omissão é desejada.

Outra dificuldade de se identificar as áreas agrícolas especificamente nesta região a partir da série temporal de EVI diz respeito ao Bioma Caatinga. Naturalmente, este Bioma apresenta uma forte variação temporal dos índices de vegetação, que se confundem com áreas agrícolas

durante a etapa da classificação não supervisionada e identificação visual das classes. Desta forma, áreas naturais podem ser classificadas como áreas agrícolas, superestimando a área plantada, conforme ocorrido no ano de 2004, ou áreas agrícolas podem ser eliminadas da máscara agrícola na etapa de inspeção visual de forma equivocada.

De modo geral, a classificação das imagens MODIS foi capaz de identificar grandes áreas agrícolas na região de estudo, captando as tendências de expansão observadas na região. No entanto, para que as imagens MODIS sejam utilizadas para fins de monitoramento da área agrícola, algumas alterações devem ser realizadas no método, eliminando a área correspondente a Caatinga, reduzindo dificuldades causadas pela forte variação temporal da vegetação natural, e estabelecendo regras de classificação claras para a identificação de áreas agrícolas, reduzindo a necessidade de inspeções visuais.

4. Conclusões

O uso de séries temporais de EVI do sensor MODIS permitiu gerar máscaras de áreas agrícolas na região de estudo, mapeando a forte expansão da agricultura nos últimos anos, principalmente na porção sul dos estados do Maranhão e Piauí.

A forte variação temporal da vegetação da Caatinga dificulta a aplicação da metodologia, pois faz com que a vegetação natural seja erroneamente identificada como área agrícola.

A área mapeada como agricultura pelo sensor MODIS subestimou a área agrícola total identificada pelo IBGE em aproximadamente 20%. No entanto, esta se mostrou próxima à área de soja plantada na área de estudo para os anos de 2001, 2002, 2006 e 2007.

Agradecimentos

A primeira autora agradece à Embrapa pela oportunidade de estágio e ao CNPq pela bolsa de iniciação concedida.

Referências Bibliográficas

BANCO MUNDIAL. *Rising global interest in farmland: Can it yield sustainable and equitable benefits?* Washington D.C., 07 de setembro de 2010.

BORRAS, S. M.; FRANCO, J.; KAY, C. e SPOOR, M. *Land grabbing in Latin America and the Caribbean viewed from broader international perspectives*. Santiago, Escritório Regional da FAO, versão de 14 de novembro, 2011 (mimeo).

GALFORD, G. L. et al. Wavelet analysis of MODIS time series to detect expansion and intensification of row-crop agriculture in Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 2, p. 576-587, 15 fev. 2008.

HECHT, S. B. Soybeans, development and conservation on the Amazon frontier. *Development and Change, Institute of Social Studies*, v. 36, n. 2, p. 375-404, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal 2010. Culturas temporárias e permanentes**. [S.l.] IBGE, 2010. v. 37

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**, v. 37, n. 1-3, p. 127-139, 2002.

LOHMANN, M.; MARTINI, L.; DEPPE, F. Monitoramento da evolução temporal da cultura da soja no Estado do Paraná utilizando imagens do sensor MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 263-269. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.16.47>>. Acesso em: 12 nov. 2012.

MORTON, D. C. et al. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 39, p. 14637-14641, set. 2006.

RUDORFF, C. DE M. et al. Superfícies de resposta espectro-temporal de imagens do sensor MODIS para classificação de área de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 37, n. 1, p. 118-125, fev. 2007.

VICTORIA, D. DE C. et al. Estimativa de área agrícola por meio de séries temporais Modis NDVI no Estado do Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1270-1278, 9 nov. 2012.