

# Potencial e Limitações do Monitoramento Agrícola com Imagens do Satélite MODIS

---

Alexandre C. Coutinho<sup>1</sup>  
John Christopher Brown<sup>2</sup>  
Daniel de C. Victoria<sup>3</sup>  
Adriano Rolim da Paz<sup>3</sup>  
Jude H. Kastens<sup>2</sup>

**Resumo:** O debate sobre as estratégias brasileiras para enfrentamento das polêmicas relacionadas ao desenvolvimento da agricultura e à preservação ambiental envolve, invariavelmente, questões relacionadas à mudança dos padrões de uso das terras, sobretudo no que diz respeito às taxas de conversão de sistemas naturais para agrícolas na região da Amazônia Legal. Conhecer esse contexto é fundamental para a definição de estratégias e políticas públicas que pretendam ampliar os benefícios advindos do setor produtivo agropecuário nacional e, ao mesmo tempo, minimizar seus impactos ambientais locais e globais. Este estudo teve como objetivo mapear, entre 2005 e 2009, as áreas de agricultura mecanizada no Mato Grosso, através da utilização de imagens do índice de vegetação do sensor orbital MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), para monitorar a dinâmica da área cultivada para a produção de grãos. A variação da área cultivada com duas safras mostrou haver um acréscimo importante na área referente à safrinha, enquanto a área total utilizada para a produção se manteve relativamente estável

<sup>1</sup> Embrapa Informática Agropecuária, alex@cnptia.embrapa.br

<sup>2</sup> Universidade de Kansas

<sup>3</sup> Embrapa Monitoramento por Satélite

no mesmo período. Considerando-se os dados obtidos, não há como negar a existência de processos de intensificação agropecuária, tanto pela adoção de boas práticas de manejo quanto pelo desenvolvimento de novas tecnologias, e continuar defendendo, intuitivamente, a tese de que o crescente desempenho da atividade agrícola brasileira ocorre em função, prioritária ou exclusiva, da degradação ambiental.

Palavras-chave: intensificação agropecuária, monitoramento da agricultura.

### **Potencial and Limitations of Monitoring of Agricultural Activity with MODIS Satellite Images**

**Abstract:** The growth of Brazilian agriculture, especially in the Amazon region, results in a much heated debate about land use and land cover change, the conversion of natural vegetation to cropland, and the balance between environmental preservation and agricultural development. In this context, governmental policies and strategies are fundamental in order to balance the economic benefits from the agricultural sector, reducing local, regional and global environmental impacts. The objective of this study was to map and study the dynamics of the mechanized croplands in Mato Grosso state considering the period of 2005-2009, using the vegetation index images provided by the MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) sensor. An increase in areas used for double cropping (soy followed by another commercial crop) was verified while total cropland area remained fairly stable. Based on data obtained, there is evidence of agricultural intensification processes, showing that the verified grain crop increase in the last years cannot be attributed only to the establishment of new cultivation areas.

Keywords: agriculture intensification, agricultural monitoring.

## Introdução

Mantendo-se a mesma tendência de crescimento populacional percebida na história da humanidade, a produção agrícola mundial total deve continuar aumentando para garantir o abastecimento e suprir as demandas por alimentos (GREGORY; INGRAM, 2000). Na busca pelo aumento da produção agrícola, os produtores adotaram ao longo das décadas de ocupação da região da Amazônia Legal, basicamente, duas estratégias: 1) aumento da área cultivada e 2) aumento do rendimento por unidade de área, ou seja, da produtividade. Embora a equação de aumento da produção total seja simples, suas conseqüências, no que diz respeito à identificação, qualificação e quantificação das mudanças nos padrões de uso e cobertura das terras, configuram um desafio bastante complexo. Esse problema torna-se especialmente importante quando procuramos entender essa dinâmica em grandes extensões da superfície terrestre, como é o caso da Amazônia Legal brasileira.

As tecnologias disponíveis para o desenvolvimento de estudos dessa natureza são ainda bastante incipientes, de alto custo e carecem de desenvolvimento metodológico e validação. Há décadas o debate mundial sobre percepções ditas desenvolvimentistas e conservacionistas, em relação a essa temática, tem sido fomentado por visões primordialmente intuitivas e pessoais. Vemos uma polaridade significativa dividindo, por um lado, os “ambientalistas”, argumentando que a agricultura intensiva tem sido responsável pela destruição do meio ambiente e degradação dos recursos naturais e, por outro lado, os “agro-industrialistas”, afirmando que o aumento da produção está sendo implementado, sobretudo, em áreas onde a cobertura vegetal natural já estava profundamente alterada como, por exemplo, sobre pastagens degradadas, caracterizando um processo de intensificação da atividade agrícola e não de expansão de sua área total.

O desenvolvimento deste estudo envolve o mais importante pólo da agricultura mecanizada da Amazônia e pretende definir uma relação entre o aumento da produção total e as mudanças nos padrões de uso e cobertura das terras, levando-se em conta os dois fatores da equação de produção total – área e rendimento – estruturando uma abordagem delimitada, no espaço e no tempo e usando dados de sensoriamento remoto orbital. As conseqüências da inten-

sificação da agricultura, mais especificamente no que se referem às mudanças nos padrões de uso das terras na Amazônia, são extremamente preocupantes, tanto no contexto nacional quanto internacional, sobretudo quando se considera a importância da região no que diz respeito ao desenvolvimento econômico do Brasil, ao abastecimento de proteína mundial, à proteção da biodiversidade e aos impactos sobre as mudanças climáticas globais.

Os resultados do estudo fornecerão subsídios importantes para elaboração de discussões e formatação de políticas públicas referentes ao monitoramento e à gestão territorial, com ênfase no aumento da produção agrícola e na redução das taxas de conversão da cobertura florestal natural.

## Material e Métodos

Uma das principais limitações das classificações convencionais de imagens de satélite consiste no fato de que a sua interpretação é toda baseada em uma única passagem (data de aquisição) e, portanto, restringe-se à informação contida em um único momento. Se por um lado, para alguns objetos ou alvos esta restrição não apresenta grandes dificuldades, por outro, no caso do monitoramento de culturas agrícolas anuais, no qual os alvos apresentam grande variação ao longo da safra, isto é bastante limitante, pois os diferentes estágios fenológicos da vegetação acarretam variações nas respostas espectrais durante seu desenvolvimento no campo e torna-se praticamente impossível sua identificação.

Existe atualmente uma grande diversidade de métodos e técnicas de geoprocessamento possíveis de serem aplicados na identificação da dinâmica de cobertura e uso das terras de grandes superfícies territoriais, sobretudo através da utilização de imagens e produtos derivados de diferentes sensores orbitais, muitos deles capazes de obter informações da superfície considerando diferentes bandas do espectro eletromagnético.

Para as aplicações específicas previstas neste projeto de pesquisa, destacam-se os denominados índices de vegetação, desenvolvidos com o intuito de realçar características da cobertura vegetal (BUITEN; CLEVERS, 1993), como o NDVI (Normalized Vegetation Difference Index) e o EVI (Enhanced Vegetation Index). O índice

NDVI é o mais tradicionalmente adotado para a caracterização da vegetação e é determinado pelo quociente entre a diferença e a soma das reflectâncias das bandas do infra-vermelho próximo e do vermelho (visível). Esse índice é utilizado como uma medida semi-quantitativa da densidade e do vigor da vegetação e vários trabalhos têm demonstrado a existência de correlações significativas entre esses dados e variáveis biofísicas da vegetação, como índice de área foliar e biomassa verde (VERBYLA, 1995; LU, 2006; REN et al., 2008). O outro índice adotado é o EVI e foi desenvolvido mais recentemente, com o objetivo de minimizar algumas limitações do NDVI, referentes aos problemas decorrentes da saturação da imagem resultante, sobretudo em áreas densamente vegetadas, por influência de efeitos atmosféricos, do substrato e da geometria de aquisição (HUETE et al., 1997).

A classificação do comportamento de séries temporais de dados oriundos de imagens de satélite de uma região permite avaliar as transições no uso e cobertura das terras, tais como, alterações da cobertura florestal natural, conversão de pastagens para culturas agrícolas, conversão de culturas agrícolas para florestais etc. (LU et al., 2004). Na busca pelas melhores estratégias para a identificação e mapeamento da dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura das terras, diferentes técnicas vêm sendo desenvolvidas e aplicadas, como por exemplo, os modelos de mistura espectral, as redes neurais artificiais e as análises de componentes principais (LU et al., 2004; LU; WENG, 2007).

A abordagem selecionada para a execução deste projeto foi a análise de séries temporais de imagens orbitais, com base nos índices de vegetação como NDVI e EVI do sensor orbital MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Essa abordagem tem sido apontada por vários grupos de especialistas como sendo a mais apropriada para monitorar e mapear culturas agrícolas (JÖNSSON; EKLUNGH, 2002; LU; WENG, 2007). Trata-se de interpretar e caracterizar o comportamento dos pixels ao longo de uma série temporal completa. Dessa forma, é possível identificar a dinâmica da vegetação em distintas escalas temporais, abrangendo desde a caracterização de ciclos fenológicos anuais ou de menor duração, para acompanhar questões relacionadas ao desenvolvimento das culturas ao longo de um ciclo ou variações desses ciclos ao longo dos anos,

para caracterizar a dinâmica das transições entre diferentes usos e coberturas das terras (BRADLEY et al., 2007).

A técnica empregada neste trabalho foi a análise harmônica de Fourier, que reproduz uma sequência temporal pelo somatório de um termo aditivo e de ondas, definidas por pares de valores de amplitude e fase. Uma rotina computacional foi utilizada para extrair as imagens de amplitude dos três primeiros componentes harmônicos da série temporal mais o termo aditivo. O termo aditivo representa o EVI médio anual, enquanto que os componentes 1 e 2 representam as oscilações anuais e semestrais do índice de vegetação (VICTÓRIA et al., 2009).

A última etapa envolveu a execução de uma classificação não supervisionada (Isocluster) nas imagens de amplitude e do termo aditivo, gerando um mapa com 10 classes e a observação, reconhecimento e agrupamento das classes referentes à atividade agrícola, para sua posterior reclassificação e geração da máscara contendo os polígonos de agricultura. O detalhamento desta máscara, em 1 ou 2 safras, foi executado através da geração de uma árvore de decisão, alimentada com dados coletados em campo sobre o histórico de uso e cobertura de 2005 a 2009, referentes a aproximadamente 400 talhões.

## Resultados e Discussão

O resultado principal deste trabalho foi o mapeamento e quantificação da área cultivada com 1 safra e da área cultivada com 2 safras para todo o Estado de Mato Grosso, ano a ano, no período compreendido entre os anos de 2005 e 2009 (Tabela 1).

Além da quantificação das áreas, foram gerados mapas temáticos mostrando onde essas áreas estão localizadas, permitindo desta forma o acompanhamento da dinâmica da área da agricultura, ao longo do tempo e no espaço, como ilustra a Figura 1, referente ao pólo produtor de grão do Estado de Mato Grosso, na qual as áreas em amarelo foram utilizadas pela agricultura para a produção de uma única safra e nas áreas em vermelho foram produzidas duas safras. Na imagem de fundo, as áreas com tons de verde e de violeta apresentam cobertura vegetal florestal e herbácea, respectivamente. As linhas pretas delimitam alguns dos municípios do pólo de produção

de grãos do Estado.

## Conclusão

Embora e as ferramentas e os métodos apresentados na execução deste trabalho tenham viabilizado a execução da tarefa de mapeamento da atividade agrícola do Estado de Mato Grosso, com o empenho de esforços computacionais e recursos financeiros relativamente pequenos, ainda existe a necessidade de um refinamento e de avaliações complementares, sobretudo no que diz respeito à acurácia do dado produzido, tanto no que diz respeito à quantificação da área agrícola, quanto à localização e distribuição espacial desta atividade.

As vantagens práticas da aplicação dessa metodologia para o monitoramento da área agrícola nacional, associadas ao seu baixíssimo custo, considerando-se que as imagens MODIS são distribuídas gratuitamente, são extremamente significativas, ainda mais se comparadas à utilização de técnicas convencionais de classificação das imagens comerciais de alta e média resolução espacial disponíveis no mercado.

Apesar disso, ainda existem grandes desafios a serem vencidos até que se possa adotar essa metodologia para abordagens em escala nacional. A primeira delas se refere à escala de abordagem ideal para o mapeamento da atividade agrícola em cada uma das regiões do país. A resolução espacial de 250 metros das imagens do satélite MODIS inviabiliza sua utilização para o mapeamento da atividade agrícola em regiões onde a paisagem é extremamente recortada e, portanto, os polígonos homogêneos de agricultura se apresentam como superfícies menores do que 100 ha. Além disso, levando-se em conta que todo esse processo considera o comportamento de uma série histórica de imagens, as variações da sazonalidade, fator preponderante na definição de diferentes épocas de plantio e colheita, precisam ser mais bem conhecidas e mapeadas, para que seja possível definir as variações dos períodos e dos ciclos produtivos ao longo de toda extensão do território nacional.

Tabela 1: Área cultivada com 1 safra e com 2 safras no Estado de Mato Grosso.

	Área em Hectares		
	2 Safras	1 Safra	Total
2005	1.477.243,75	5.675.243,75	7.152.487,50
2006	1.934.350,00	4.096.106,25	6.030.456,25
2007	3.050.593,75	4.445.637,50	7.496.231,25
2008	2.426.218,75	4.257.212,50	6.683.431,25
2009	2.909.206,25	3.333.781,25	6.242.987,50

Fonte: Elaborado pelos autores

## Contribuição Prática e Científica do Trabalho

O método apresentado tem um alto potencial para simplificar a tarefa de mapear e monitorar a atividade agrícola no território nacional brasileiro, ainda mais se considerarmos sua extensão e complexidade paisagística.

Apesar de ainda carecer de análises complementares para avaliação mais acurada sobre a precisão dos dados gerados, o método reduz em muito os custos atuais dessa tarefa, além de reduzir significativamente o tempo de execução dessa atividade. Além de promover uma significativa antecipação dos dados referentes à área agricultada e dar ao setor produtivo a opção de atuar com estratégias mais agressivas e ousadas frente aos mercados internacionais, o método também oferece ao Governo Federal a possibilidade de reagir a movimentos do mercado e formatar políticas públicas associadas ao setor agrícola, de forma mais rápida e segura.

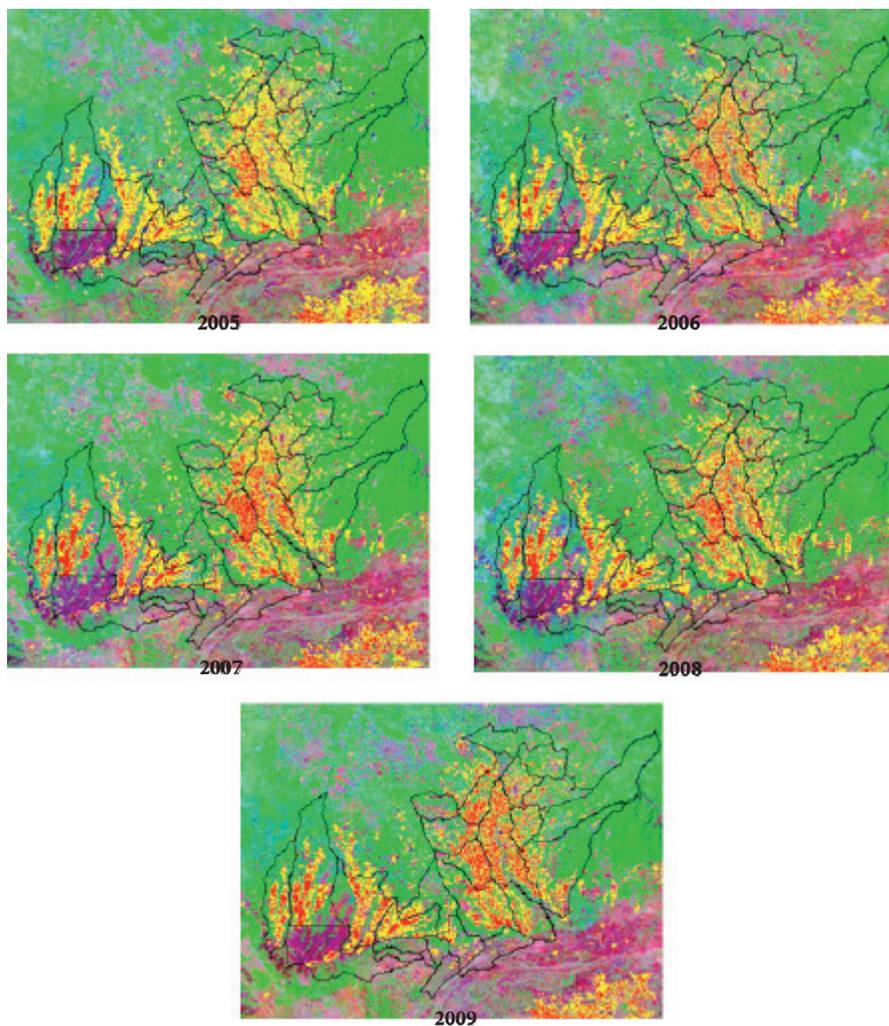


Fig. 1: Área agrícola do período de 2005 a 2009, com 1 safra (amarelo) e com 2 safras (vermelho).

Fonte: Imagens geradas por meio do satélite MODIS.

## Referências

BRADLEY, B. A.; JACOB, R. W.; HERMANCE, J. F.; MUSTARD, J. F. A curve fitting procedure to derive inter-annual phenologies from time series of noisy satellite NDVI data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.106, p.137-145, 2007. doi:10.1016/j.rse.2006.08.002.

BUITEN, H.J.; CLEVERS, J.G.P.W. (Ed.) **Land observation by remote sensing: theory and applications**. Austrália: Gordon and Breach Science Publishers, 1993. 642p. il. (Current Topics in Remote Sensing, 3).

GREGORY, P. J.; INGRAM, J. S. I. Global change and food and Forest production: future scientific challenges. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.82, p.3-14, 2000.

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**, New York, v.9, p.440-451, 1997.

JÖNSSON, P.; EKLUNDH, L. Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v.40, n.8, p. 1824-1832, 2002. doi:10.1109/TGRS.2002.802519.

LU, D.; MAUSEL, P.; BRONDÍZIO, E.; MORAN, E. Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v.5, n.12, p.2365-2407, 2004. doi: 10.1080/0143116031000139863.

LU, D. The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v.27, n.7, p.1297-1328, 2006. doi: 10.1080/01431160500486732.

LU, D.; WENG, Q. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v.28, n.5, 2007. doi: 10.1080/01431160600746456.

REN, J.; CHEN, Z.; ZHOU, Q.; TANG, H. Regional yield estimation for winter wheat with MODIS-NDVI data in Shandong, China. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Enschede, v.10, p.403-413, 2008. doi:10.1016/j.jag.2007.11.003.

VERBYLA, D.L. **Satellite remote sensing of natural resources**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1995. 198p. il. (Mapping Sciences Series).

VICTORIA, D. de C.; ANDRADE, R.G.; ROLIM da PAZ, A. Série temporal de imagens EVI/MODIS para discriminação de formações vegetais do Pantanal. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2., 2009, Corumbá. **Anais...** Corumbá: Embrapa Pantanal; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos: INPE, 2009. p.1018-1025.