

# Analise da intensificação da agricultura no Mato Grosso à partir de dados TRMM 3B42 e de series temporais MODIS/EVI

Damien Arvor<sup>1</sup>  
Vincent Dubreuil<sup>1</sup>  
Margareth Simões Penello Meirelles<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Rennes 2, laboratorio COSTEL-LETG UMR 6554 CNRS  
Place du Recteur H. Le Moal 35043 RENNES CEDEX - França  
{damien.arvor, vincent.dubreuil}@univ-rennes2.fr

<sup>2</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ  
Departamento de Engenharia de Sistemas e Computação – Pos Graduação em Geomatica

<sup>3</sup> Embrapa Solos  
Rua Jardim Botânico, 1024 – Rio de Janeiro, RJ  
maggie.meirelles@gmail.com

**Abstract.** The Brazilian state of Mato Grosso (southern Amazonia) is one of the main national producer of agricultural products such as soybean, cotton and corn. After having based its development on the expansion of arable lands through deforestation for thirty years, the agricultural sector is now increasing its productive potential through the adoption of new agricultural management practices such as double cropping systems. Remote sensing techniques such as classification of MODIS/TERRA EVI times series are efficient tools for monitoring this phenomena. It appears that double cropping systems with wo commercial crops (soybean and corn or soybean and cotton) improved from 6% to 26% of the total cultivated area in Mato Grosso between 2000-2001 and 2006-2007 harvests. However, when studying at a county level, those rates vary from 1 to more than 50%, attesting that it exists a strong spatial variability concerning the application of this agricultural management practice. It is argued that this rate is in part drove by the importance of total agricultural areas in a place and by pluviometric conditions. This hypothesis is confirmed by crossing MODIS data with rainfall data. These data are issue from the TRMM 3B42 products, which are computed into parameters such as duration, onset, end of the rain season and total annual rainfalls. Those parameters are found to explain 42% of the spatial variability of the application of double cropping systems in Mato Grosso.

**Palavras-chave:** MODIS, TRMM, agricultural intensification, Mato Grosso, soja.

## 1. introduction

A intensificação da agricultura é definida como “*higher levels of inputs and increased outputs (in quantity or value) of cultivated or reared products per unit area and time*”, Lambin et al. (2001). Dois tipos de intensificação devem ser diferenciados: (i) a intensificação horizontal é “*change in total production on recently deforested land*”, e (ii) a intensificação vertical é “*change in total production in areas were society is generally not concerned about effects of agricultural expansion: non-forest areas*”, Brown et al. (2007).

No caso do Mato Grosso, a intensificação horizontal predominou durante muitos anos. A expansão das areas agricolas foi reconhecida como sendo uma causa importante de desmatamento, Morton et al. (2006). Mas, apos um periodo de abertura da floresta e do cerrado, a ultima decada foi marcada pela adoção de novas praticas culturais que traduzem uma forte mudança no processo de intensificação da agricultura. Uma dessas novas praticas tem como objetivo de aumentar e diversificar a produção baseando-se nas culturas de soja, milho e algodão cultivadas em sistema de duas safras sucessivas (safra-safrinha).

Hoje em dia, espera-se que essa transição na forma de intensificação agricola pode levar a um modelo de desenvolvimento agropecuario mais sustentavel. A diversificação da produção deveria trazer mais estabilidade na economia local. Porém, cultivando duas safras por ano tambem significa um incremento na aplicação de produtos fitosanitarios poluentes. Tambem

deve ser considerado o impacto do aumento da produção (e da rentabilidade) no desmatamento.

Antes de analisar seus impactos positivos ou negativos, é importante monitorar e entender a evolução espaço-temporal da adoção de um tal processo de intensificação vertical. O objetivo deste artigo é de mapear as áreas cultivadas com duas safras e de estimar se o grau de intensificação encontrado em uma área pode ser relacionado às condições pluviométricas.

As técnicas de sensoriamento remoto representam uma ferramenta adequada para cumprir este papel. De um lado, as imagens fornecidas pelo sensor MODIS/TERRA (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) permitem um acompanhamento dos ciclos vegetativos, Galford et al. (2008). Do outro lado, as imagens de estimativa de chuva fornecidas pelo sensor TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) representam uma boa alternativa aos dados de campo, as quais estão incluídas numa rede de observação pouco densa.

## **2. Área de estudo**

O estado de Mato Grosso (906 000 km<sup>2</sup>) é localizado na parte sul da Amazônia brasileira (Figura 1). A região foi colonizada a partir da década de 1970 por agricultores vindos do sul do país através projetos de colonização privados, Jepson (2005). Essas pessoas desenvolveram o setor agropecuario em cima da atividade pecuarista extensiva e da agricultura mecanizada. Assim, em 2006, o Mato Grosso já era reconhecido como um dos principais estados agrícolas do Brasil, sendo ele o maior produtor de soja (5,075 milhões de hectares) e de algodão (560 milhares de hectares), e o segundo maior produtor de milho (1,65 milhão de hectares), IBGE (2008). Essas três principais culturas podem ser cultivadas em sistema de safra simples ou de safra-safrinha.

No caso de uma safra simples, a soja é plantada em outubro e colhida em fevereiro ou março. Após a colheita, o talhão é deixado numa situação de pousio ou com cobertura no solo (geralmente milho ou sorgo) a fim de proteger o solo das últimas chuvas. O algodão é cultivado de janeiro a julho já que ele precisa ser colhido na estação seca. No caso de um sistema safra-safrinha, a cultura de soja é plantada a partir de setembro e colhida em janeiro e fevereiro. Após a colheita, o plantio de milho ou de algodão é realizado para ser colhido em junho e julho.

Este calendário agrícola é definido pelos regimes pluviométricos que se encontram no estado de Mato Grosso. O clima é caracterizado por uma estação seca e uma estação úmida bem definidas. Na estação úmida, acumula-se entre 1000 mm ao sul e 2000 mm ao norte. Essa variação é ligada a um gradiente norte-sul que determina a duração da estação chuvosa (entre 7 meses ao sul e 9 meses ao norte). Assim, no centro do estado, a estação chuvosa começa em setembro-outubro e acaba em abril-maio, meses que correspondem às épocas de plantio e colheita das culturas. Além, as chuvas do Mato Grosso estão ligadas à presença de sistemas convectivos de meso escala que explicam mais de 50% das precipitações. Assim, existe uma grande variabilidade espaço-temporal das precipitações no Mato Grosso.

## **3. Dados utilizados**

### **3.1. Dados de campo e estatísticas oficiais**

Dois missões de campo foram realizadas em 2006 e 2007 com o objetivo de coletar dados referentes às principais classes de uso do solo na agricultura mato-grossense. Cinquenta fazendas foram visitadas nas regiões da chapada dos Parecis e da BR163 e mapeadas a partir de imagens CBERS. Através entrevistas realizadas com fazendeiros, 93424 ha e 151621 ha foram mapeados para as safras 2005-2006 e 2006-2007 respectivamente. O mapeamento foi feito a partir de cinco classes de uso do solo: três classes representando um sistema com uma única cultura comercial (classes soja, algodão e soja+cobertura) e duas classes representando um sistema safra-safrinha com duas culturas comerciais (classes soja+milho e soja+algodão).

Tambem, estatísticas sobre a area media dos estabelecimentos agropecuarios foram obtidos na escala municipal a partir do Censo 2006, IBGE (2008).

### 3.2. Dados de sensoriamento remoto para mapeamento das areas agricolas

Os produtos MOD13Q1 fornecidos pelo sensor MODIS/TERRA foram selecionados para o periodo de julho 2000 ate julho 2007. Esse produto apresenta os indices de vegetação EVI com uma resolução espacial de 250 m e uma resolução temporal de 16 dias (ou seja 23 imagens por ano). A repetição das imagens permite acompanhar os ciclos vegetativos das culturas a serem mapeadas. O EVI é definido pela Equação 1, Huete (2002) :

$$EVI = G \frac{NIR - R}{(L + NIR + C1.R - C2.B)} \quad (1)$$

onde  $R$ ,  $NIR$  e  $B$  correspondem as bandas do vermelho, infravermelho proximo e azul.  $G=2.5$  é um fator de ganho.  $L=1$ ,  $C1=6$  e  $C2=7.5$  são parametros de ajuste utilizados para minimizar os efeitos dos aerossóis.

Esses dados estão integrados em um processo de classificação supervisionada cujo objetivo é de detectar as cinco classes de agricultura predefinidas. A classificação é realizada em duas etapas : (i) mapeamento das areas agricolas e (ii) mapeamento das classes agricolas. As duas etapas correspondem a duas classificações baseadas nas series temporais anuais de EVI (julho-julho). Cada classificação contem cinco etapas.

O mapeamento das areas agricolas é feito atraves (1) a suavização das series temporais por uma função polinomial, (2) a extração de 6 atributos das series temporais (media, desvio padrão, amplitude, data de maximo de EVI, minimo e “mean slope”), (3) a aplicação de um classificador Maximo Verossimilhança para detectar quatro classes de vegetação (floresta, cerrado, pastagem e area agricola), (4) a criação de uma mascara com as areas agricolas e (5) a aplicação de um tratamento de pos-classificação. Este tratamento é baseado na eliminação das areas agricolas isoladas menores que 25 hectares e a eliminação dos pixels cuja classe muda duas vezes em três anos (por exemplo, um pixel detectado como area agricola é eliminado se ele é detectado numa outra classe o ano precedente e o ano seguinte). O resultado deste metodo é avaliado com os dados coletados no campo em 2005-2006. 94.91% das areas agricolas mapeadas foram detectadas pela metodologia.

Apos a criação desta etapa, a classificação das classes culturais é tambem baseada em cinco etapas : (1) as series temporais de EVI são suavizadas com um filtro de Savitzky-Golay, (2) treze imagens compoendo a serie anual de EVI são selecionadas porque elas trazem mais separabilidade entre as classes : dias julianos (mês/dia) 001 (01/01), 017 (01/17), 033 (02/02), 081 (03/22), 097 (04/07), 113 (04/23), 129 (05/09), 145 (05/25), 161 (06/10), 305 (11/01), 321 (11/17), 337 (12/03), 353 (12/19), (3) o classificador de Maximo Verossimilhança é aplicado para separar as cinco classes agricolas, (4) o melhoramento da classificação é realizado por uma segmentação. As classes estão atribuidas a cada segmento segundo a probabilidade dos pixels de pertencer a cada classe. Finalmente, (5) as classes soja, algodão e soja+cobertura são reagrupadas na classe “uma cultura comercial” e as classes soja+milho e soja+algodão são reagrupadas na classe “duas culturas comerciais”. A metodologia foi avaliada com os dados de campo do ano 2005-2006 (precisão = 84.64%).

Essas duas etapas de classificação foram aplicadas aos dados de MODIS/EVI de cada ano entre 2000-2001 e 2006-2007 (Figura 1). Elas permitem distinguir as quatro principais regiões de produção no Mato Grosso (sudeste, leste, centor-norte e oeste) e estudar a evolução da intensificação da agricultura.

### 3.3. Dados de sensoriamento remoto para estudo dos regimes pluviometricos

Os dados fornecidos pelos sensores da plataforma TRMM trazem estimativas das precipitações nas latitudes tropicais com uma resolução espacial de  $0,25^\circ$  e uma resolução temporal de 3 horas (produto TRMM 3B42). A principal vantagem destes dados consiste no fato que elas combinam diferentes fontes de informações já que varios sensores (micro ondas, radar, visível/infravermelho) estão a bordo da plataforma, Simpson et al. (1996).

Os dados estão reamostrados numa resolução temporal de cinco dias. A qualidade dos dados nessa resolução foi avaliada a partir de dados de 116 estações de campo, Arvor et al., (2008). Esses dados estão então tratados para determinar quatro parametros que caracterizam a estação chuvosa no Mato Grosso : inicio, fim, duração da estação chuvosa e total de precipitações anuais. Estes parametros foram calculados anualmente de agosto 1998 a julho 2006 através a aplicação da metodologia de “Anomalous Accumulation”, Liebmann et al. (2007). Finalmente, as medias dos oito anos são calculadas (Figura. 2).

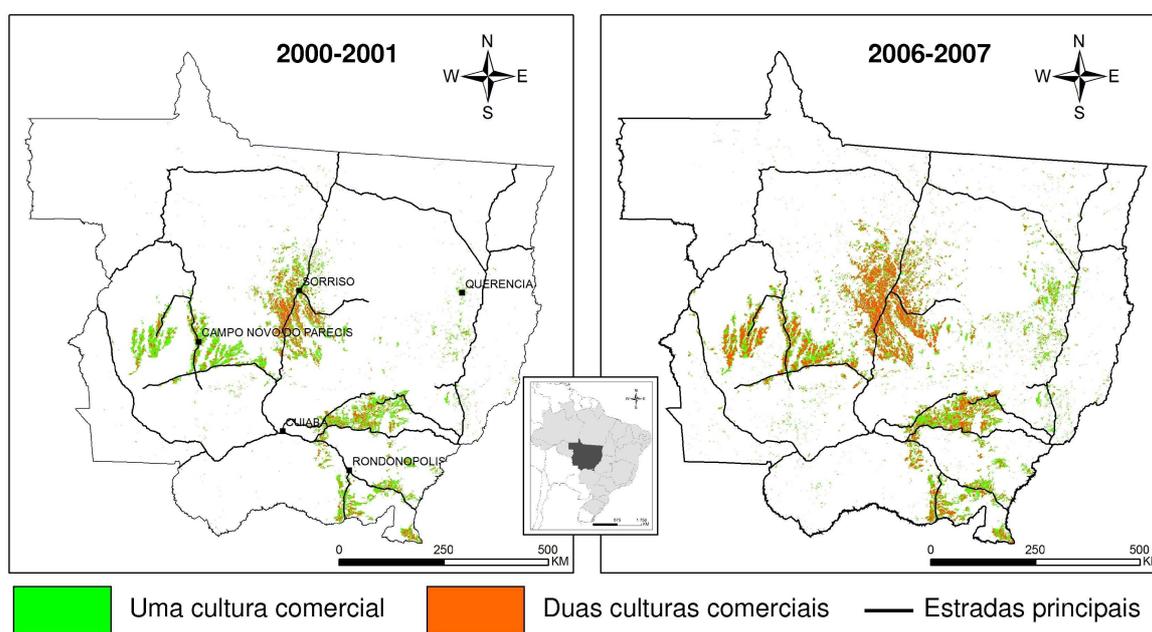


Figura 1. Mapas das áreas agrícolas cultivadas com uma ou duas culturas comerciais em 2000-2001 e 2006-2007 no Mato Grosso.

#### 4. Metodologia

Uma breve análise da evolução espaço-temporal da intensificação vertical é realizada na escala regional através o estudo de quatro municípios espalhados nas quatro principais regiões agrícolas do Mato Grosso : Sorriso, Campo Novo do Parecis, Rondonópolis e Querença (Figura 1). Essa parte permite definir melhor as regiões mais adequadas para a adoção dessas novas práticas culturais.

Afim de analisar se o grau de intensificação vertical da agricultura (ou seja a adoção de um sistema safrinha) pode ser ligado as condições pluviométricas, as mapas de uso do solo fornecidas pela classificação das imagens MODIS são reamostradas na mesma resolução que as imagens MODIS. Duas informações são então atribuídas a cada pixel : (i) a percentagem da área do pixel que se encontra em uma classe agrícola, a qual é ligada ao grau de intensificação agrícola horizontal naquele espaço, e (ii) a percentagem da área agrícola de um pixel que se encontra cultivada com duas culturas comerciais, a qual é ligada ao grau de intensificação agrícola vertical naquele espaço (Figura 3).

A variável correspondendo a percentagem de intensificação agrícola vertical é recortada em quatro classes (<25%, 25 – 50%, 50-75% e >75%). Para cada classe, a media das outras variáveis é calculada afim de definir se existe alguma dependência qualitativa entre as

variáveis. Em seguinte, uma regressão linear multipla é efetuada afim de entender qual parte da variabilidade da intensificação vertical pode ser explicada por essas variáveis. Essa regressão também permite detectar quais são as variáveis mais significativas para explicar essa variabilidade. Finalmente, essas variáveis mais significativas são correlacionadas separadamente com a presença de duas culturas comerciais para entender melhor suas interrelações.

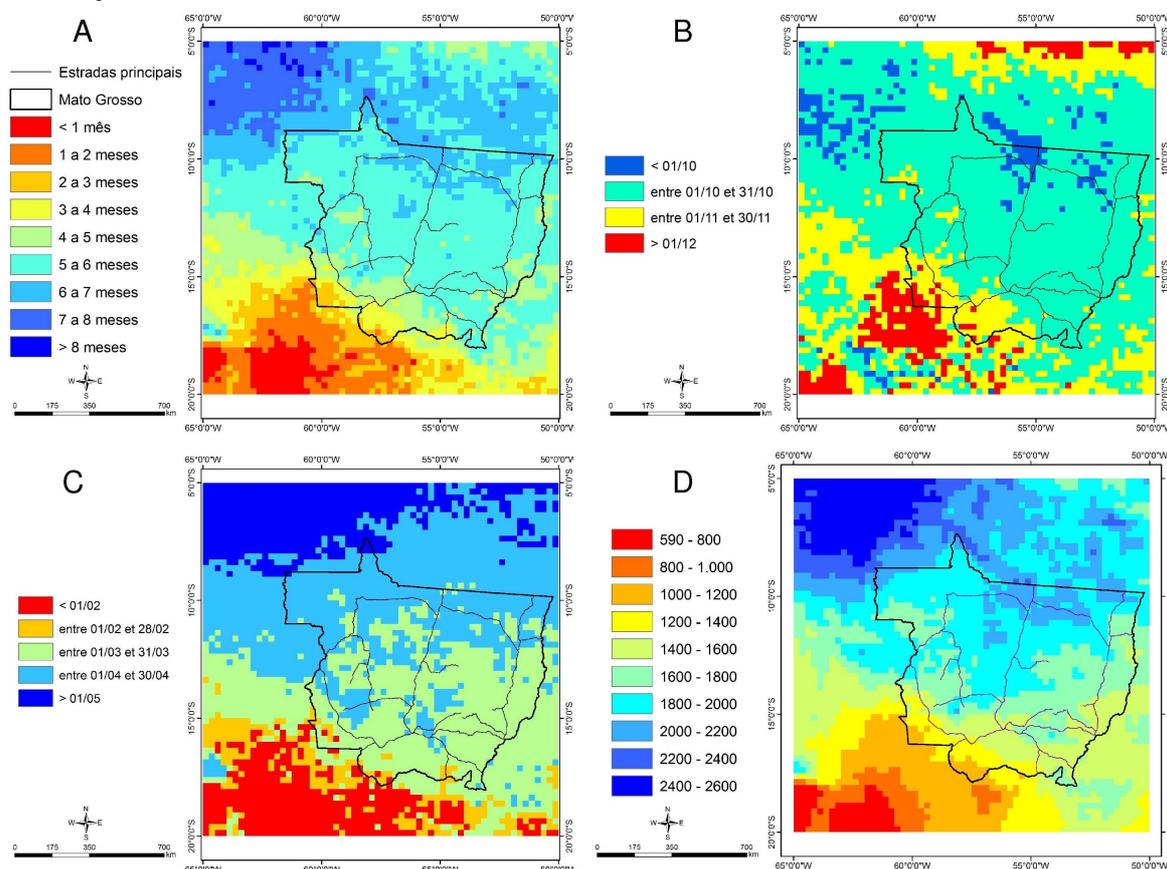


Figura 2. Parâmetros característicos (medias de agosto 1998 a julho 2006) da estação chuvosa no Mato Grosso : (A) duração, (B) início, (C) fim e (D) totais anuais.

## 5. Resultados

Os resultados obtidos a partir da classificação das imagens MODIS/EVI demonstram uma expansão de 70% da área cultivada entre as safras 2000-2001 (3 917 963 ha) e 2006-2007 (6 683 956 ha) (Tabela 1). Neste mesmo período, as mudanças de práticas culturais foram radicais. O sistema safrinha com duas culturas comerciais (soja+milho ou soja+algodão) passou a representar 26% das áreas cultivadas em 2006-2007 (contra 6% em 2000-2001). Essa expansão se deu de maneira desigual no território Mato Grossense. Em 2000-2001, dos quatro municípios escolhidos como exemplos, nenhum apresentava um nível de adoção do sistema safrinha superior a 10% da área agrícola. Esse tipo de prática ainda era considerado como marginal. Na safra 2006-2007, os municípios das regiões oeste (Campo Novo do Parecis) e centro-norte (Sorriso) apresentam um forte aumento do uso do modelo safrinha, o qual representa 50% das áreas cultivadas em Sorriso e 29% em Campo Novo do Parecis. Ao contrário, os municípios das regiões Leste (Querência) e Sudeste (Rondonópolis) não desenvolveram muito este sistema safrinha (menos de 10% da área agrícola).

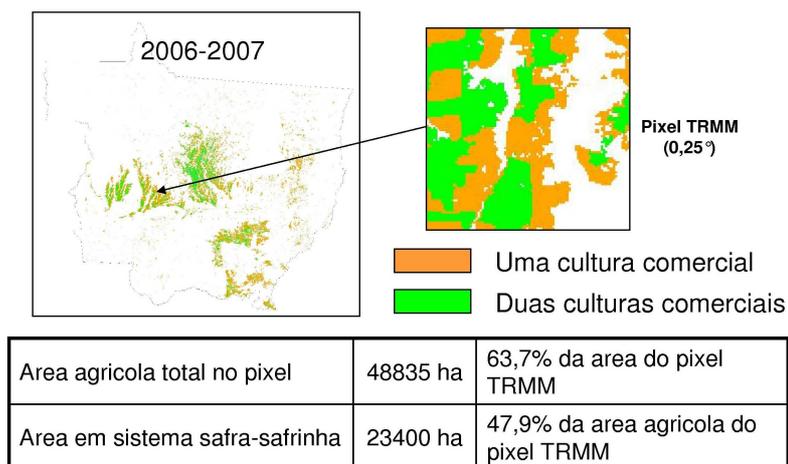


Figura 3. Metodologia para o calculo da porcentagem de area agricola e da porcentagem de area plantada em sistema safra-safrinha por pixel TRMM.

Apos a reamostragem das classificações MODIS na resolução TRMM, a discretização da variavel correspondente a porcentagem da area agricola cultivada com duas culturas comerciais permite analisar as características pluviometricas e agricolas dos pixels considerados (Tabela 2). Percebe-se que os pixels tendo o maior percentual da area agricola cultivada em sistema safra-safrinha correspondem aos pixels cuja area total cultivada no pixel é maior, ou seja os pixels onde a agricultura ja é consolidada ha mais tempo. Esses pixels tambem correspondem aos pixels onde a estação chuvosa é mais longa e mais intensa indicando uma influencia da estação chuvosa na adoção de praticas culturais de intensificação agricola. Nos pixels mais cultivados com duas culturas comerciais (mais de 50%), é importante ressaltar que a area media dos estabelecimentos agricolas tem um papel importante. Quanto mais o modelo com duas culturas comerciais é escolhido (> 75% da area cultivada), menor é a area da fazenda (688 ha contra 1004 ha para os pixels apresentando um nivel de intensificação entre 50 e 75%). Nas fazendas menores, o plantio acaba mais rapidamente (fim de outubro) e permite plantar mais safrinha apos a colheita da soja. Nas fazendas maiores, o plantio termina mais tarde (ate dezembro) e assim impede o plantio de uma safrinha apos a colheita da soja em março ou abril.

Tabela 1. Evolução das areas cultivadas e da porcentagem da area cultivada em sistema safra ou safra-safrinha no Mato Grosso e quatro municipios modelos entre as safras 2000-2001 e 2006-2007.

	2000-2001			2006-2007		
	Area cultivada total (ha)	1 cultura comercial	2 culturas comerciais	Area cultivada total (ha)	1 cultura comercial	2 culturas comerciais
<b>Mato Grosso</b>	<b>3 917 963</b>	<b>94%</b>	<b>6%</b>	<b>6 683 956</b>	<b>74%</b>	<b>26%</b>
<b>Sorriso</b>	415 600	91%	9%	539 400	50%	50%
<b>Campo Novo do Parecis</b>	306 319	98%	2%	363 619	71%	29%
<b>Rondonopolis</b>	75 650	98%	2%	100 075	93%	7%
<b>Querencia</b>	27 756	100%	0%	178 363	99%	1%

A influencia das variaveis sobre a intensificação vertical da agricultura tambem é analisada atraves a aplicação de uma regressão linear multipla. Os resultados mostram que essas variaveis explicam ( $R^2$ ) 42% da variabilidade espacial. Esse baixo resultado é devido ao fato que, especialmente na resolução espacial do TRMM (25 km\*25 km), muitos outros fatores podem influenciar a adoção dessas novas praticas : numero de fazendas encontradas

num pixel TRMM, potencial de investimento dos fazendeiros, condições climáticas locais no ano considerado, origens dos fazendeiros, distância a um centro de pesquisa em agronomia....

Tabela 2. Características agrícolas e pluviométricas dos pixels TRMM classificados segundo a porcentagem de área cultivada com duas culturas comerciais em 2006-2007.

% duas culturas comerciais	Área cultivada no pixel	Duração da estação chuvosa (dias)	Início da estação chuvosa	Fim da estação chuvosa	Total de chuvas anuais (mm)	Área média dos estabelecimentos (ha)
<25	19%	161	19 outubro	25 março	1716	552
25-50	37%	165	18 outubro	28 março	1790	780
50-75	49%	164	17 outubro	26 março	1814	1004
>75	68%	172	13 outubro	29 março	1934	688

A mesma regressão linear indica que duas variáveis têm uma influência significativa no modelo: a porcentagem de área cultivada no pixel (ou seja, o grau de consolidação da agricultura no pixel) e o total de chuvas anuais. O estudo das regressões simples de cada uma dessas variáveis com a variável “porcentagem de duas culturas comerciais” completa a análise das interações entre essas variáveis. Elas são efetuadas por vários limites de áreas agrícolas num pixel TRMM a fim de identificar se a influência das chuvas se faz sentir da mesma maneira independentemente do grau de presença da agricultura no pixel TRMM (Figura 4). Quando todos os pixels do Mato Grosso são considerados, a porcentagem da área agrícola cultivada em sistema safrinha dentro de um pixel TRMM é mais correlacionada com a área agrícola presente no pixel ( $R = 0,63$ ) do que com os totais de chuvas anuais ( $R = 0,08$ ). Ao contrário, se for considerado os pixels contendo uma área agrícola maior (> 25% do pixel TRMM), ou seja, os pixels onde a agricultura é mais consolidada, os totais anuais de chuvas são mais correlacionados ( $R=0,48$ ) com o grau de intensificação agrícola (e  $R = 0,68$  se for considerado os pixels com mais de 60% de áreas agrícolas). Isso significa que a partir de um limiar de consolidação da agricultura num território, os regimes pluviométricos passam a representar um fator importante para explicar as práticas culturais aplicadas pelos fazendeiros.

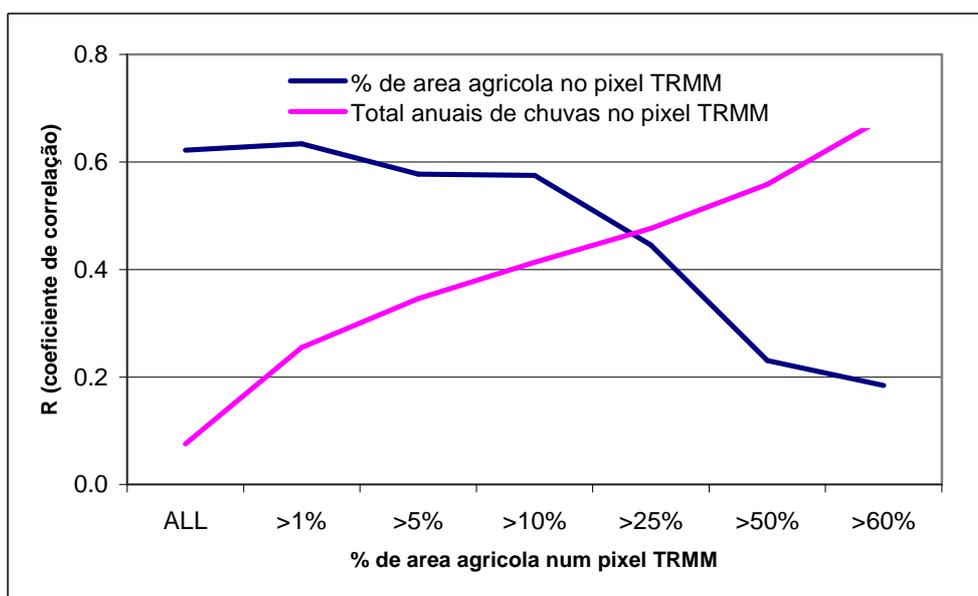


Figura 4. Coeficiente de correlação entre a porcentagem da área agrícola plantada em sistema safrinha e a porcentagem de área agrícola no pixel TRMM (azul) e os total anual de chuva no pixel TRMM (rosa). O coeficiente é calculado com vários limites de porcentagem de área agrícola no pixel TRMM.

## 6. Resultados

O uso das técnicas de sensoriamento remoto ajudam a entender melhor o processo de intensificação agrícola que está ocorrendo no Mato Grosso. Em 2006-2007, segundo as imagens MODIS/EVI, o sistema safrinha com duas culturas comerciais representou 26% da área agrícola do estado. Mas, o avanço dessas novas práticas culturais se faz de maneira desigual no território, sendo mais marcado nas regiões centro-norte e oeste do estado. O grau de presença do setor agrícola numa área (em parte ligado a sua antiguidade neste mesmo local) e o total anual de chuvas (estimados pelos dados TRMM EB42) são os principais fatores explicando 42% da variabilidade espacial da adoção de um modelo agrícola intensivo.

## Agradecimentos

Esse trabalho foi desenvolvido no âmbito dos programas DURAMAZ (Sustentabilidade na Amazônia Brasileira : [http://www.iheal.univ-paris3.fr/rubrique.php?id\\_rubrique=361](http://www.iheal.univ-paris3.fr/rubrique.php?id_rubrique=361)) financiado pela Agência Nacional da Pesquisa Francesa.

## Referências bibliográficas

- Arvor, D. ; Dubreuil, V.; Ronchail, J.; Meirelles, M. S. P. Apport des données TRMM 3B42 à l'étude des précipitations au Mato Grosso. **Climatologie**, v. 5, 21 p., 2008.
- Brown, J. C.; Jepson, W. E.; Kastens, J. H.; Wardlow, B. D.; Lomas, J.; Price, K. P. Multitemporal, Moderate-Spatial-Resolution Remote Sensing of Modern Agricultural Production and Land Modification in the Brazilian Amazon, **GIScience & Remote Sensing** v.44, n.2, p.117-148, 2007.
- Galford, G. L.; Mustard, J. F.; Melillo, J.; Gendrin, A.; Cerri, C. C.; Cerri, C. E. P. Wavelet analysis of MODIS time series to detect expansion and intensification of row-crop agriculture in Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.576-587, 2008.
- Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E. P.; Gao, X.; Ferreira, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p. 195-213, 2002.
- IBGE (Sidra: Sistema IBGE de Recuperação Automática) Disponível em : <<http://www.sidra.ibge.gov.br>> Acesso em: 15.oct.2008.
- Jepson, W. Private agricultural colonization on a Brazilian frontier, 1970-1980. **Journal of Historical Geography**, v.32, p. 839-863, 2006.
- Lambin, E. F.; Turner, B. L.; Geist, H. J.; Agbola, S. B.; Angelsen, A.; Bruce, J. W.; Coomes, O.; Dirzo, R.; Fischer, G.; Folke, C.; George, P. S.; Homewood, K.; Imbernon, J.; Leemans, R.; Li, X.; Moran, E. F.; Mortimore, M.; Ramakrishnan, P. S.; Richards, J. F.; Skanes, H.; Steffen, W.; Stone, G. D.; Svedin, U.; Veldkamp, T. A.; Vogel, C. & Xu, J. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths, **Global Environmental Change**, v.11, p. 261-269, 2001.
- Liebmann B.; Camargo, S. J.; Seth, A.; Marengo, J. A.; Carvalho, L. M. V.; Allured, D., Fu, R.; Vera, C. S. Onset and End of the Rainy Season in South America in observations and the ECHAM 4.5 Atmospheric General Circulation Model. **Journal of Climate**, v.20, p. 2037-2050, 2007.
- Morton, D. C.; DeFries, R. S.; Shimabukuro, Y. E.; Anderson, L. O.; Arai, E.; Espirito-Santo, F. D. B.; Freitas, R. M.; Morisette, J. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.103, n.39, p.14637-14641, 2006.
- Simpson, J.; Kummerow, C.; Tao, W.-K.; Adler, R. F. On the tropical rainfall measuring mission (TRMM). **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.60, p. 19-36. 1996