

A utilização de dados SPOT Vegetação para evidenciar a expansão e a intensificação da agricultura no Mato Grosso.

Vincent Dubreuil^{1,2}
Damien Arvor¹
Nathan Debortoli²
Saulo Rodrigues Filho²

¹Laboratoire COSTEL UMR 6554 CNRS LETG, Université Rennes 2
Place du Recteur H.Le Moal, 35043 RENNES CEDEX, France
vincent.dubreuil@univ-rennes2.fr ; damien.arvor@univ-rennes2.fr

² Centro de Desenvolvimento Sustentável – CDS, Universidade de Brasília
70904-970 - Campus Universitário Darcy Ribeiro, Gleba A, Asa Norte, Brasília-DF, Brazil.
srodrigues@unb.br; nathandebortoli@gmail.com

Abstract. The Mato Grosso's soybean production has considerably increased in the last 10 years reaching 15.3 millions of tons in 2007 (7,2 in 1998). This expansion leads to obvious environmental and socio-economical consequences such as deforestation or urban growth. The goal of this study is to evaluate how the remote sensing techniques, and especially the NDVI, can be used to analyze the extension of soybean's fields in Mato Grosso and the transformation of agriculture in this State. The NDVI is obtained from the SPOT-Vegetation satellite on monthly time series (maximum value composition at a 1 km spatial resolution). It enables localizing the cultivated areas and is an indicator of the crop's growth. It also allows detecting the double cropping management practice which is increasing in this area since a few years. The results show a correlation of 0.98 between our estimation of crop superficies and IBGE's datas for the whole Mato Grosso. The NDVI's time series also confirm the increase of double cropping systems representing 30% of the cultivated areas in 1999, 57% in 2006 and 72% in 2007, showing the diversification and the intensification of agriculture in this region. Finally, the monitoring of recently deforested large fields in a defined county (Vera) show a gap reduction between the three successive stages leading to intensified agricultural practices, i.e. forest clearing, first crop plantation and first adoption of double cropping practice.

Keywords: Remote Sensing, agro-business, deforestation, Amazonia, sensoriamento remoto, desmatamento.

1. Introdução

No Brasil, a soja representa, desde os anos 1980, um vetor de colonização notadamente preponderante nos Estados da Região Centro-Oeste. Assim, Mato Grosso é, hoje, o primeiro Estado produtor do Brasil com 5,1 milhões de hectares semeados, em 2007, e 15,3 milhões de toneladas produzidas, o que representa um quarto da produção brasileira (IBGE, 2008). Hoje, a expansão da soja ocorre sempre mais ao Norte, suplantando os territórios florestais a partir de dois centros principais de produção, situados sobre a Chapada dos Parecis e ao longo da BR 163 que liga Cuiabá a Santarém (Dubreuil et al., 2008). O objetivo deste estudo é avaliar a capacidade das imagens NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) do instrumento Vegetação do satélite SPOT, que permite observar os cultivos de soja e também cultivos secundários (notadamente milho) que são implantados após a colheita principal.

Para analisar a evolução da ocupação e da utilização dos solos em relação as práticas culturais sobre uma vasta zona de estudo (907.000 Km² para o Mato Grosso todo), a teledetecção aparece como o instrumento mais adequado. Numerosos índices de vegetação que combinam os canais do vermelho e do infra-vermelho próximo como o NDVI demonstrase o interesse por estudar a vegetação e os cultivos como a soja (Motta et al., 2003). As séries temporais destes índices permitem um acompanhamento representativo do crescimento das plantas, ao longo do tempo da cobertura vegetal, o que ao mesmo tempo é indicador do rendimento das culturas e uma resposta às condições climáticas (Gurgel e Ferreira, 2003). Então, trata-se de determinar em qual índice de vegetação NDVI, procedente do satélite SPOT

Vegetação (resolução espacial = 1 Km) e obtendo sob a forma de síntese mensal a partir do Máximo Valor de Composição, pode servir de indicador das transformações de ocupação e de utilização dos solos declarando uma ocupação intensificada do espaço e das práticas agrícolas (Carreiras et al., 2003). Após uma abordagem global das superfícies cultivadas do Estado de Mato Grosso, interessa-nos mais especificamente o município de Vera, representativo das transformações recentes neste setor.

2. Apresentação da região de estudo e metodologia

2.1 Cultivo e desmatamento no Mato Grosso

Se o Estado do Mato Grosso tornou-se efetivamente o celeiro do planeta, isto se explica por um formidável crescimento das superfícies de cultivo ao longo dos últimos 20 anos. Os dados fornecidos pelo IBGE (2008) mostram claramente a importância tomada pela cultura da soja desde 1990. A produção passou de 3 milhões de toneladas em 1990, a 17,7 milhões de toneladas em 2005, ou seja, um incremento de 600% que se explica principalmente pelo aumento das superfícies cultivadas de soja, mas também pelo aumento constante dos rendimentos, favorecidos pelos esforços da pesquisa brasileira. Todas as principais culturas presentes neste Estado progrediram fortemente (um incremento de 2 vezes na produtividade do arroz, 3 vezes da cana-de-açúcar, 4 vezes do milho, 11 vezes do algodão) e traduzem bem o dinamismo da agricultura mecanizada na região.

Esta situação conduziu a uma certa regionalização dos diferentes cultivos. A cultura mecanizada da soja é instalada principalmente nas regiões planas do centro-norte, ao longo da BR 163 (ao redor de Sorriso, primeiro município produtor do Brasil), e no planalto da Chapada dos Parecis a leste. O milho semeado para segunda colheita (safrinha) depois da soja (safra), logicamente é desenvolvido nos mesmos municípios que a soja. Semelhante ao caso do algodão que é por vezes cultivado para segunda colheita após a soja, no entanto é mais comum como colheita principal. Contudo, a diferença é que o algodão impôs-se nas regiões (Chapada dos Parecis e Primavera do Leste) onde as fazendas são mais extensas, pois procedem de colonização mais recente e menos organizada que ao longo da BR 163, conseqüentemente tendo mais meios para investir nesta atividade. Por seu lado, a cana-de-açúcar é desenvolvida sobretudo na Chapada dos Parecis graças a presença das usinas de transformação na região.

A expansão destas culturas realiza-se especialmente em dependência das áreas de Cerrado e de floresta de transição (Cardille e Foley, 2003). Assim, os dados do PRODES mostram que já há alguns anos, o Mato Grosso alcança regularmente os maiores valores de superfície empregada na agricultura dentre os Estados brasileiros: nestes últimos anos, os números variaram entre 4.333 km², em 2006, e 11.814 km², em 2004, ano recorde (INPE, 2008). Nos últimos 3 anos observa-se uma nítida curvatura das áreas abertas para a agricultura, evolução, sem dúvida, mais ligada a questão do preço da soja que ao real impacto das políticas e preservação. Contudo, nota-se que as superfícies dispostas para a cultura são minoritárias no processo de transformação da ocupação do solo (Morton et al., 2006), a essência do desmatamento continua ligada a extensão das áreas de pastagem, questão de destaque para vários autores o fato da expansão da soja ter por conseqüência o caminhar dos criadores de gado para locais mais ao norte e na Amazônia (Fearnside, 2001).

O acompanhamento desta expansão do desmatamento é, de agora em diante, bem conhecido graças aos trabalhos efetuados no âmbito dos programas PRODES e DETER do INPE. Paralelamente, alguns Estados como o Mato Grosso instalaram seu próprio programa de vigilância ao desmatamento. Estes trabalhos são realizados geralmente através de imagens em alta resolução espacial (Landsat, CBERS), mais recentemente com dados em média resolução MODIS (Brown et al., 2007; Lima et al., 2007). Estudos globais são realizados

igualmente através da aparência a baixa resolução (NOAA, SPOT-Vegetação), no âmbito do acompanhamento planetário das mudanças na forma de utilização dos solos (programa LUCC). Nosso propósito neste artigo é testar um instrumento simples de acompanhamento da evolução das superfícies cultivadas que utilizam os dados de baixa resolução espacial SPOT-Vegetação.

2.2 Contribuição dos dados SPOT-Vegetação

O satélite SPOT é francês e foi concebido pelo CNES (Centro Nacional de Estudos Espaciais) no âmbito do programa SPOT (Sistema Para a Observação da Terra). Em 1998, foi instalado a bordo do SPOT-4 o instrumento para observação da vegetação, devido ao Programa Vegetação efetuado pela França, União Européia, Suécia, Bélgica e Itália: o objetivo seria fornecer medidas precisas das características aprovadas em escala regional ou global para favorecer pesquisas referentes a agricultura, ao desmatamento, a exploração dos recursos naturais e ao efeito estufa. Para responder a estes objetivos, a resolução do instrumento de vegetação foi fixado em um quilômetro (1165 m) o que permite a cobertura de um quadrado de 2000 km de lado por imagem enquanto sua resolução temporal é de um dia. Além disso, este instrumento produz imagens em 4 bandas espectrais que são:

- azul (0,43 – 0,47 μm)
- vermelho (0,61 – 0,68 μm)
- infra-vermelho próximo (0,78 – 0,89 μm)
- infra-vermelho médio (1,58 – 1,75 μm)

Este satélite situa-se a 820 quilômetros de altitude com inclinação orbital de 98,7°, permanecendo em órbita polar heliosincrônica (SPOT, 2008). A resolução espacial é compatível com a dimensão média das parcelas e da exploração agrícola nas regiões produtoras de soja do Mato Grosso, tendo, freqüentemente, as primeiras, uma superfície de 100 a 300 hectares e as segundas milhares de hectares.

Os dados obtidos neste estudo são sínteses de dezenas S10 que correspondem ao tratamento por um período de 10 dias dos dados NDVI calculados pelo método do “Maximum Value Composite”. Para minimizar a presença abundante de nuvens durante as estações chuvosas no Mato Grosso (de novembro a março) trabalhou-se com as sínteses mensais, pois as sínteses em dezenas comumente eram de qualidade ruim durante este período. O período estabelecido para este estudo se estendeu de abril de 1998 a dezembro de 2007, ou seja, 9 ciclos culturais completos.

A figura 1 permite evidenciar as diferenças das séries temporais de NDVI que podem existir entre uma parcela de floresta e uma parcela aberta e transformada em cultivo. No caso da parcela 1 (300 hectares em média) os valores do NDVI permaneceram constantemente elevados e geralmente compreendidos entre 0,6 e 0,8 com ciclo sazonal pouco contrastado. O caso da parcela nº 2 (por volta de 500 hectares), mostra a presença de uma cobertura florestal com um perfil de NDVI muito próximo daquele da parcela 1 de 1998 ao início de 2004; a partir da estação seca de 2004, o NDVI torna-se notadamente mais fraco, apresentando um processo de abertura de áreas confirmado pelo perfil em 2005 e a imagem Landsat do ano seguinte. A partir de 2006, passa-se a uma parcela agrícola com auge destacado em janeiro (arroz), um ressurgimento secundário em abril-maio e um solo descoberto na estação seca (amplitude de NDVI entre o auge e o início do ano e o mínimo da estação seca superior a 0,4). Observa-se que o segundo auge é pouco destacado, o que significa que não há um segundo cultivo verdadeiro, mas um simples ressurgimento após a colheita de fevereiro. Nota-se igualmente em janeiro e fevereiro de 2004, que os valores de NDVI foram anormalmente fracos em razão de uma importante cobertura nebulosa o que limitou a detecção de cultivos nesta estação.

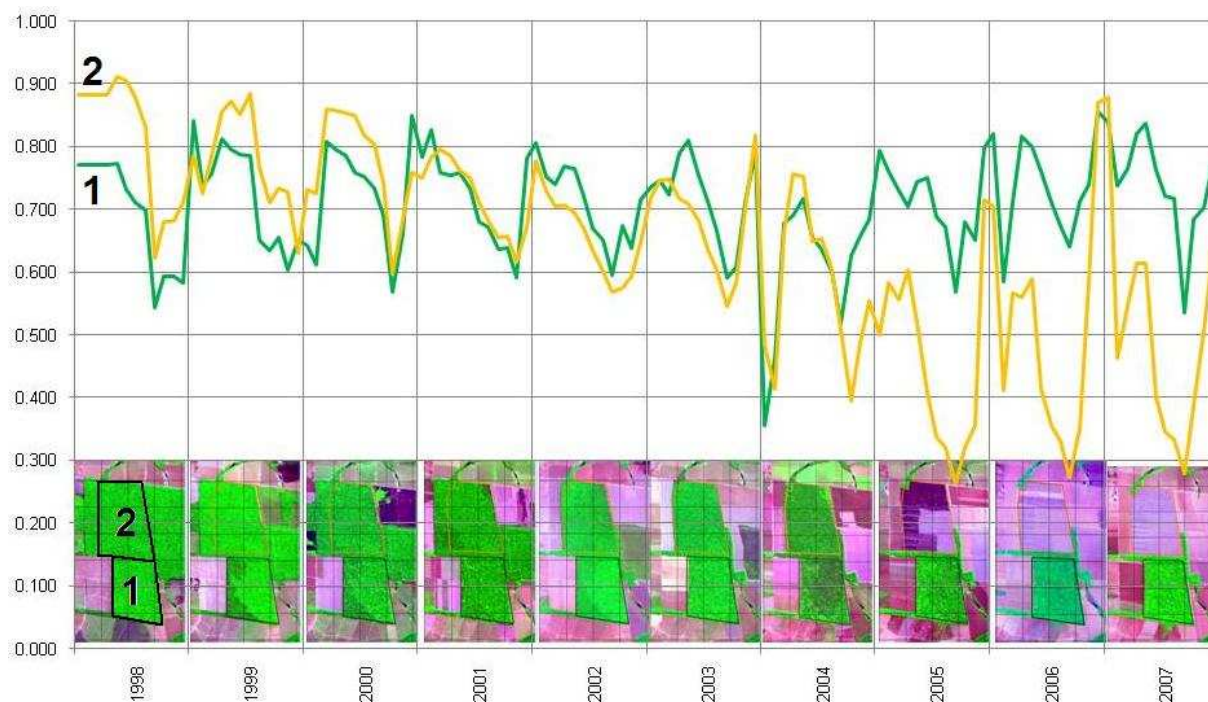


Figura 1 : Perfis de NDVI SPOT-Vegetação por 2 parcelas situadas ao sul de Vera-MT:
 1: Parcela de floresta (300 hectares) ; 2: parcela aberta em 2004-2005 (500 hectares)
 Na parte inferior, extraídos das cenas Landsat (5x7 Km) para cada estação seca que mostra a evolução da ocupação do solo (composições coloridas 3, 4, 5)

O método apresentado no âmbito deste estudo pode ser resumido pelas três etapas seguintes:

- Realização das sínteses mensais de NDVI sobre o conjunto do período 1998-2007 a partir das sínteses em dezenas S10;
- Discriminação das superfícies cultivadas quando os valores em pixels correspondem a condição a seguir: diferença entre o valor máximo observado de dezembro a fevereiro e o valor de julho é 2 vezes superior ao desvio médio sobre o conjunto da estação. A escolha do valor máximo de dezembro a fevereiro apresenta-se no auge do NDVI, o que pode ser observado na estação, mais cedo ou mais tarde, segundo os anos e as regiões; isto permite também ajustar a presença de nuvens residuais sobre as sínteses mensais. A escolha pelo início de julho ao invés do mês de agosto para o valor mínimo objetiva melhor discriminar os solos verdadeiramente descobertos após cultivos das parcelas de pastagem cujo NDVI continua a ser ligeiramente mais elevado na primeira parte da estação seca. Enfim, o limiar apresentado em cada ano indica uma dinâmica própria de cada estação.
- As regiões de duplo cultivo são, entre aqueles discriminados na etapa anterior, aquelas em que o NDVI máximo sobre o período de abril a maio excede o limiar de 0,7. Há, também, a escolha por um período de dois meses que permite observar melhor a variabilidade regional dos perfis do NDVI de safrinha, o limite de 0,7 é suficientemente elevado para discriminar os ressurgimentos secundários que não correspondem a culturas verdadeiras. Nota-se, contudo, que não há possibilidade, neste caso, de distinguir um segundo cultivo verdadeiro (milho, algodão) de uma simples cultura de cobertura (do tipo milheto, por exemplo).

3. Resultados

3.1 A extensão do cultivo no Mato Grosso

A figura 2 mostra a evolução das superfícies cultivadas no Mato Grosso de 1999 a 2007. Observa-se a forte extensão das superfícies até 2005 a partir dos municípios “históricos” de 3 regiões principais: Rondonópolis-Campo Verde ao sul, Lucas do Rio Verde-Sorriso ao centro e Sapezal-Campo Novo dos Parecis a oeste. A partir de 2005, um quarto pólo aparece ao redor de Querência; seu desenvolvimento pareceu manter-se até 2007, enquanto certa estagnação ou mesmo diminuição foi notada nas outras regiões.

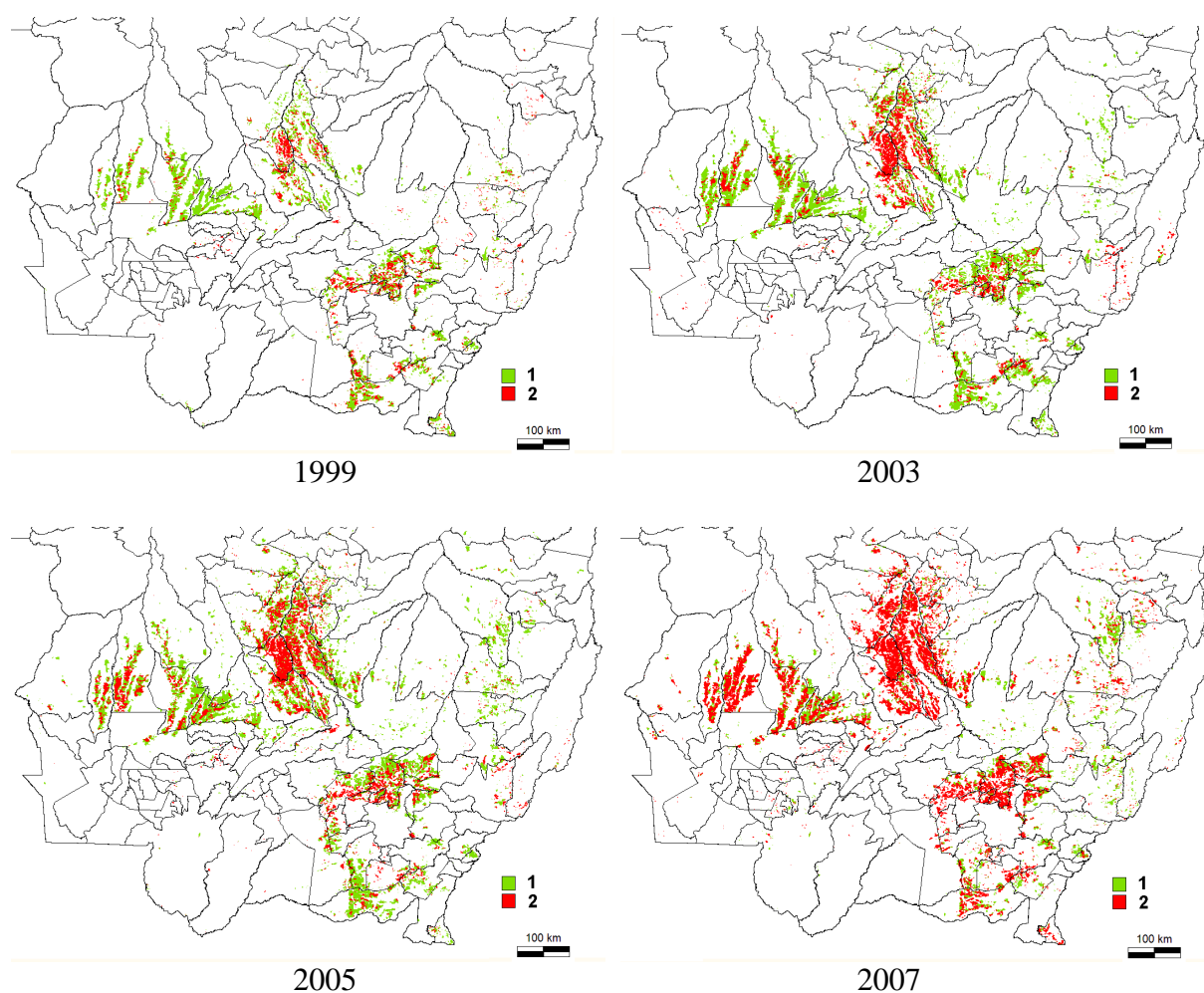


Figura 2 : Evolução das superfícies cultivadas no Mato Grosso de 1999 a 2007 de acordo com os dados SPOT-Vegetação:

1: uma cultura; 2: duas culturas (limites municipais em preto)

A comparação entre os dados IBGE e os resultados do processamento de dados SPOT-Vegetação mostra o interesse do segundo. Assim, a curva anual das superfícies estimadas para SPOT-Vegetação é muito próxima daquela do IBGE (figura 3): a correlação atinge 0,98 pelos 9 valores anuais reunindo o conjunto de cultivos da soja e do algodão (este último cultivado como cultura principal e com superfície representando menos de 10% em comparação a soja no Mato Grosso durante todo o período). O desvio entre os dados SPOT-Vegetação e IBGE é muito fraco para a maior parte dos anos, à exceção de 2002 (superestimado em 8,9%), 2005 e 2006 (subestimado respectivamente em 12,5 e 9,8%). Este desvio tende a minimizar o auge

dos cultivos observados no Mato Grosso em 2005 e a baixa que se seguiu em 2006 e 2007. Contudo, a extensão ou a redução das superfícies agrícolas são apenas um dos aspectos de evolução da forma de utilização do solo, que afinal conheceu uma segunda evolução notável, aquela ligada a intensificação do uso.

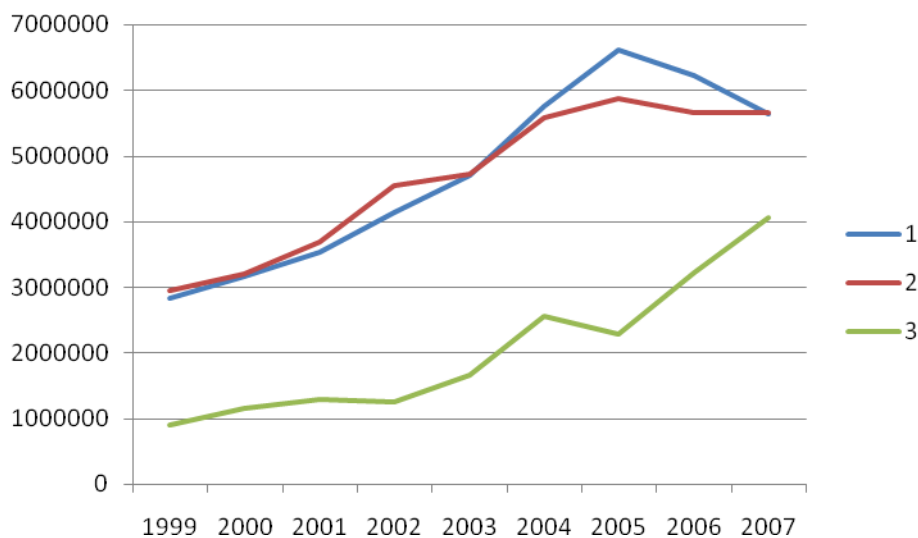


Figura 3 : Evolução das superfícies cultivadas no Mato Grosso (em hectares):
 1: dados IBGE (soja + algodão), 2: estimações SPOT-VGT
 3: estimações das zonas de 2 cultivos com SPOT-VGT

3.2 A extensão dos cultivos secundários (safrinha) e a intensificação da agricultura

As figuras 2 e 3 mostram igualmente que a utilização do solo tornou-se cada vez mais intensiva no curso dos últimos anos. Isto se traduz por uma generalização do segundo cultivo (safrinha) na maior parte das regiões de produção de soja. Assim, mesmo referindo-se apenas a 30% das superfícies (especialmente ao redor de Lucas do Rio Verde e da região sudeste) em 1999, esta proporção passou para 39% em 2005, 57% em 2006, para atingir 72% em 2007. Para este último ano, somente nas áreas de abertura recente (Querência, Nova Maringá) ainda há uma taxa de importância alta para o cultivo único, em todas as outras áreas a prática de dois cultivos tornou-se regra.

A segunda evolução notável refere-se a velocidade crescente com que novas parcelas foram abertas e depois cultivadas, segundo o sistema de dois cultivos anuais. Assim, o acompanhamento de duas outras parcelas de controle no município de Vera permite a ilustração deste fenômeno (figura 4). Nestes dois casos trata-se de parcelas que foram desarborizadas, a primeira (nº 3) em 1998-1999, a segunda (nº 4) em 2001-2002. Os perfis de NDVI e as imagens Landsat permitem ver que a parcela nº 3 foi aberta depois queimada, em 2000, para admitir seguidamente durante 5 anos uma colheita de arroz e depois uma colheita de soja. A partir de 2006, claramente foi instaurado um ciclo duplo de cultivo (o auge secundário de 2004 e 2005, provavelmente, pode corresponder a um ressurgimento espontâneo). No caso da parcela nº 4, a fase de preparação do solo terminou em 2004, o primeiro cultivo manifestou-se no início de 2005 e o segundo cultivo apareceu a partir de 2007, ou mesmo em 2006. Neste exemplo, enquanto a duração da preparação da parcela é vizinha (aproximadamente dois anos), a área aberta em 2001-2002 passa mais rapidamente pelo sistema de intensificação para os dois cultivos. A questão então é saber se trata-se de um fenômeno isolado ou de uma tendência generalizada.

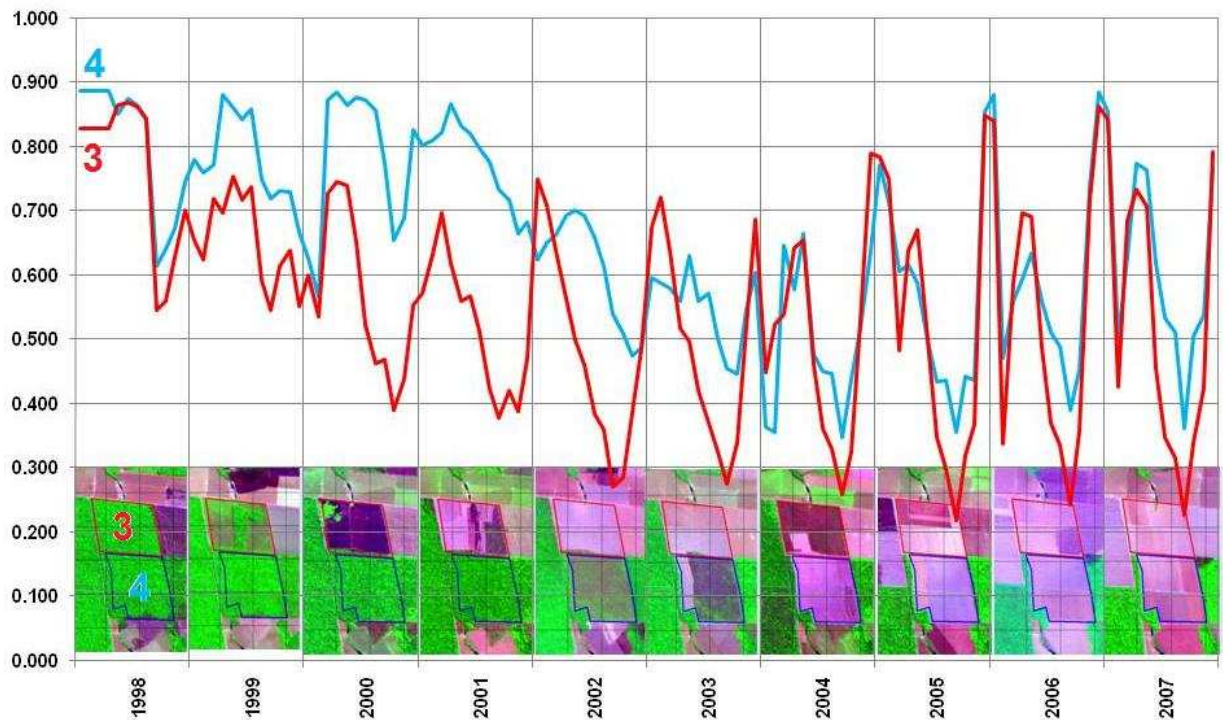


Figura 4 : Perfis de NDVI SPOT-Vegetação para 2 parcelas localizadas ao sul de Vera-MT. 3: Parcela aberta em 1998-1999 (300 hectares); 4: Parcela aberta em 2001-2002 (400 hectares). Na parte inferior, extraído das cenas Landsat (5x7 Km) para cada estação seca mostra a evolução da ocupação do solo (composições coloridas 3, 4, 5).

Para tentar quantificar este fenômeno escolhemos trabalhar apenas sobre o município de Vera, representativo dos municípios onde a extensão da soja foi maciça e recente. Somente as parcelas abertas com tamanho superior a 300 hectares foram mantidas com o objetivo de conservar as superfícies compatíveis ao acompanhamento do NDVI pelo SPOT-Vegetação. Para cada um destes, o perfil do NDVI permitiu determinar o ano do primeiro cultivo e a observação do primeiro cultivo duplo (retomando os mesmos critérios já expostos na metodologia). Os cálculos mostram que a duração média entre o ano de abertura e o primeiro cultivo detectado pelo perfil do NDVI varia pouco (um pouco mais que 2 e um pouco menos que 3 anos). Em contrapartida, a duração entre o primeiro cultivo e o primeiro ciclo safrinha não pára de diminuir: assim passou de 3,1 anos em 1999, para 2,3 em 2001 e 2002, para atingir 1,5 em 2003 e 2004. Estes números significam na realidade que próximo a parcela sobre as 2 áreas abertas em 2003-2004, o ciclo de duplo cultivo começa a ser praticado com continuidade nos anos seguintes a partir da primeira colheita ocorrida dentro deste sistema, o que confirma a vontade dos agricultores de utilizar suas terras o mais rápido possível. Especificamente esta taxa permaneceu a mesma para as parcelas abertas em 2005 sem que seja pertinente o cálculo médio, afinal para este último ano uma proporção importante de terras abertas (por volta da metade) no município de Vera mostrou os perfis de NDVI correspondentes a uma reposição florestal do tipo capoeira após a fase de recuperação da área: ilustra-se a redução do desmatamento observado há 3 anos a partir da região e que conduziu os agricultores a preferir intensificar as produções sobre as terras já abertas e não abrir novas parcelas.

4. Conclusão

Os dados SPOT-Vegetação permitem realizar um acompanhamento satisfatório das superfícies cultivadas de soja e daquelas submetidas a um sistema de duplo cultivo safrinha. O tamanho das parcelas cultivadas (várias dezenas de hectares) e das fazendas (frequentemente vários milhares de hectares) permite compensar os inconvenientes da baixa resolução espacial. Os resultados mostram a progressão constante das superfícies cultivadas e do sistema de duplo cultivo até 2005. A partir desta data, as superfícies cultivadas diminuíram (assim como a abertura de novas áreas) mas o sistema de duplo cultivo continua a se espalhar, atribuindo-se mais de 70% das superfícies cultivadas no Mato Grosso em 2007. O estudo dos perfis de NDVI fornecidos pelo SPOT-Vegetação permite então mostrar que a crise atravessada pelos produtores de soja há 3 anos, os conduziu, de um lado, a limitar a abertura de novas áreas, mas, ao mesmo tempo, a tentar tirar o melhor proveito das terras já utilizadas diversificando ou intensificando suas práticas agrícolas.

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) financiado pela Agência Nacional da Pesquisa Francesa e LUPIS (Land Use Policies and Sustainable Development in Developing Countries : <http://www3.lei.wur.nl/lupis/index.aspx>) financiado pelo União Europeo.

Referências

- Cardille, J. A.; Foley, J. A. Agricultural land-use change in Brazilian Amazonia between 1980 and 1995: Evidence from integrated satellite and census data. **Remote Sensing of Environment** n.87, p.551-562, 2003.
- Carreiras, J. M. B.; Pereira, J. M. C.; Shimabukuro, Y. E.; Stroppiana, D. Evaluation of compositing algorithms over the Brazilian Amazon using SPOT-4 VEGETATION data. **International Journal of Remote Sensing** v.24, n.17, p.3427-3440, 2003.
- Dubreuil, V.; Laques, A.E.; Nédélec, V.; Arvor, D.; Gurgel, H. Paysages et fronts pionniers amazoniens sous le regard des satellites : l'exemple du Mato Grosso. **L'Espace Géographique**, n.37, p.57-74, 2008.
- Fearnside, P. M. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. **Environmental Conservation** n.28, p.23-38, 2001.
- Gurgel, H.C.; Ferreira, N.J. Annual and interannual variability of NDVI in Brazil and its connections with climate. **International Journal of Remote Sensing**, v.24, n.18; p.3595-3609, 2003.
- IBGE (Sidra: Sistema IBGE de Recuperação Automática) Disponível em : <<http://www.sidra.ibge.gov.br>> Acesso em: 15.oct.2008.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brazil), Projeto PRODES. Disponível em : <http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2007.htm> Acesso em: April 2008.
- Lima, A.; Shimabukuro, Y. E.; Anderson, L. O.; Torezan, J. M. D.; Rudorff, B. F. T.; Rizzi, R. Atualização cartográfica do mapa de cobertura do Mato Grosso através da integração de mapas provenientes de imagens TM e MODIS., **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 1711-1717, 2007.
- Morton, D. C.; DeFries, R. S.; Shimabukuro, Y. E.; Anderson, L. O.; Arai, E.; Espírito-Santo, F. D. B.; Freitas, R. M. & Morissette, 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.
- Motta, J.L.; Fontana, D. C.; Weber, E. Evolução temporal do NDVI/NOAA em áreas cobertas por pixels com proporções variáveis de soja, **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, n.2, p.353-369, 2003.
- SPOT © CNES, Free VEGETATION Products (10 days synthesis) Disponível em : <<http://free.vgt.vito.be/home.php>> Acesso em : 15.oct.2008.