

Mapeamento multitemporal (2001-2009) do uso da terra no bioma Amazônia do estado do Mato Grosso através de imagens MODIS

Tahisa Neitzel Kuck¹
Edwin Willem Hermanus Keizer¹
Pablo Pacheco¹
Roni Von Cascais de Lira¹
Sâmia Amorim de Vasconcelos¹
André Nóbrega de Arruda¹

¹ Greenpeace – Campanha Amazônia
Av. Joaquim Nabuco, 2367 – Centro – CEP 69020-031 - Manaus - AM, Brasil
tahisakuck@yahoo.com.br; ekeizer@greenpeace.org; pablopac@gmail.com;
rlira@greenpeace.org; samiamorim@gmail.com; andrelabgeo@gmail.com

Abstract. Large scale agriculture and extensive cattle ranging are the main drivers of deforestation within the Amazon are responsible for 158.310 km² of forest cover loss since 2001. Although these two activities represent significant importance within the context of land use and land cover change and their impacts on greenhouse gas emissions, there is still no adequate operational monitoring system which provides high quality data and information on land use change considering the spatial-temporal dynamics. This information is crucial for territorial planning, zonation for use and conservation, environmental monitoring, agricultural planning and agro-business among others. The objective of this study by Greenpeace was the development of a land use classification methodology for the annual land use mapping within the Amazon Biome covering the state of Mato Grosso, based on multitemporal analysis of EVI (Enhanced Vegetation Index) values derived from the MOD12Q1 product of the MODIS sensor. The classification was implemented through the construction of a decision tree based on knowledge differentiating the temporal behavior of EVI of the different land use types. Field data collection, literature analysis and medium to high resolution image interpretation were the basis for land use differentiation. The obtained results were validated and demonstrated excellent accuracies according to literature. The methodology showed to be applicable for the mapping of the principal land use types present within the study area and permits to analyze interannual transitions to increase our understanding of the land use dynamics within the Amazon biome.

Palavras-chave: remote sensing, LUCC, EVI, decision tree, sensoriamento remoto, mudança de uso/cobertura da terra, EVI, árvore de decisão.

1. Introdução

O desmatamento e as mudanças no uso da terra são responsáveis por 57,7% das emissões brasileiras de gases do efeito estufa, segundo dados preliminares apresentados pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 2009). Desse total, 35,5% referem-se somente às mudanças no bioma Amazônia. Esses valores colocam o país nas primeiras colocações do ranking de emissões de gases do efeito estufa. De 2001 a 2009, o desmatamento na Amazônia Legal brasileira avançou 158.310 km² (PRODES, 2009), área esta maior que a do estado do Acre.

As atividades mais extensivas no Bioma Amazônia são a pecuária e agricultura de grande escala, as quais colocam o Brasil na posição de terceiro maior exportador de produtos agrícolas do mundo, segundo a Organização Mundial de Comércio. Em decorrência do crescente envolvimento da sociedade com temas relacionados à preservação do meio ambiente, aumenta a demanda, tanto nacional quanto internacional, por produtos gerados a partir de modos de produção menos impactantes.

Nesse cenário, faz-se necessário o desenvolvimento de um sistema operacional de monitoramento de uso e cobertura do solo nas regiões de florestas tropicais, fundamentado em dados e tecnologia de baixo custo, que possibilite a identificação espaço-temporal e

transparente das transições de uso e cobertura da terra, e que possibilite à sociedade conhecer a proveniência dos alimentos consumidos.

Diversos estudos utilizando sensoriamento remoto para detectar mudança de uso e cobertura da terra têm demonstrado que tal tecnologia vem se tornando a cada dia mais importante no monitoramento das florestas, tanto em escala regional quanto global (Hansen et al. 2000; Achard et al. 2001; Friedl et al. 2002; Eva et al. 2004; Morton et al., 2006). Até hoje não existem sistemas operacionais de monitoramento de uso da terra, que atualizem dados e informações sobre a área e local de diferentes tipos de usos em intervalos de tempo adequados considerando a dinâmica das conversões de uso e cobertura da terra na região. Essas informações são essenciais para análises de mudanças de uso e cobertura da terra (*Land Use Cover Change - LUCC*) e para tomadores de decisões sobre questões relevantes, como planejamento territorial, agrícola, ambiental, entre outros. Para entender melhor as dinâmicas dos vetores de desmatamento relacionados ao uso da terra é necessário ter esses dados espacializados e com alta frequência temporal. Com este objetivo, o Greenpeace vem elaborando uma metodologia de classificação do uso da terra baseada na análise de séries multitemporais de produtos MODIS (*MODerate resolution Imaging Spectroradiometer*), a qual será apresentada neste trabalho.

2. Metodologia

2.1 Dados utilizados

Em um primeiro momento buscou-se mapear anualmente, de 2001 a 2009, o uso da terra na área do estado do Mato Grosso localizada no Bioma Amazônia (IBGE) (figura 1). Foi utilizado o produto MOD13Q1, o qual é gerado a partir da composição de 16 dias de imagens MODIS de 250 metros de resolução espacial, cobrindo, anualmente, 23 vezes uma mesma localidade da superfície terrestre. As imagens compostas são disponibilizadas no site da NASA no formato *hdf*, cujo arquivo contém diversos produtos, dentre os quais o EVI (*Enhanced Vegetation Index*), utilizado na presente análise por promover a redução das influências atmosféricas e do solo de fundo do dossel no monitoramento da vegetação (Justice et al., 1998). Huete et al. (2002) sugerem ainda que o EVI apresenta substancial melhora na sensibilidade às alterações do dossel em relação ao NDVI, principalmente em áreas de maior densidade de biomassa.



Figura 1. Área de estudo, compreendendo a porção do estado do Mato Grosso localizada no bioma Amazônia. A imagem raster sob os vetores corresponde a um mosaico EVI, obtido através do produto MOD13Q1.

Para a classificação dos tipos de uso da terra, as 23 imagens intra-anuais foram utilizadas juntamente com 7 imagens do ano anterior ao em estudo, a fim de incorporar o período inicial das culturas agrícolas de verão, totalizando assim 30 imagens para análise de cada ano.

Imagens Landsat TM dos anos de 2001 a 2009, de resolução espacial de 30 metros e 6 bandas espectrais, foram utilizadas na elaboração da árvore de decisão para a classificação das imagens MODIS e ainda para a validação dos resultados obtidos, uma vez que pela sua melhor resolução espacial, permite uma melhor inferência sobre o tipo de uso da terra. Tais imagens foram previamente processadas e convertidas para valores de reflectância de superfície através do software CLASLite (ASNER et al., 2009), a fim de corrigir as interferências atmosféricas. As mesmas foram corrigidas com base no mosaico Landsat Geocover de 2000. Com os mesmos objetivos foram utilizadas também imagens SPOT do ano de 2009, corrigidas geometricamente (ortoretificadas), com resolução espacial de 2,5 metros.

2.2 Abordagem para classificação do uso da terra

Para a classificação da composição de 30 imagens cobrindo 1 ano e 112 dias, faz-se necessário conhecer o comportamento temporal do EVI para cada tipo de uso da terra ao longo do período analisado. As classes de uso definidas para esta primeira classificação foram: pasto, agricultura, floresta e floresta alterada.

A primeira seleção dos gráficos de variação do EVI ao longo do tempo representativos de cada tipo de uso foi realizada com base na literatura disponível (ARVOR et al., 2007, EPIPHANIO, 2007), inspeção nas imagens de alta resolução espacial e conhecimento adquirido pela equipe ao longo das diversas expedições de campo realizadas com propósitos diversos a este trabalho.

Os gráficos a seguir (figura 2) são exemplos de comportamento temporal do EVI para diferentes usos, capturados a partir de pixels centrais de propriedades cuja extensão é de pelo menos 4 vezes o tamanho do pixel dos dados MOD13Q1.

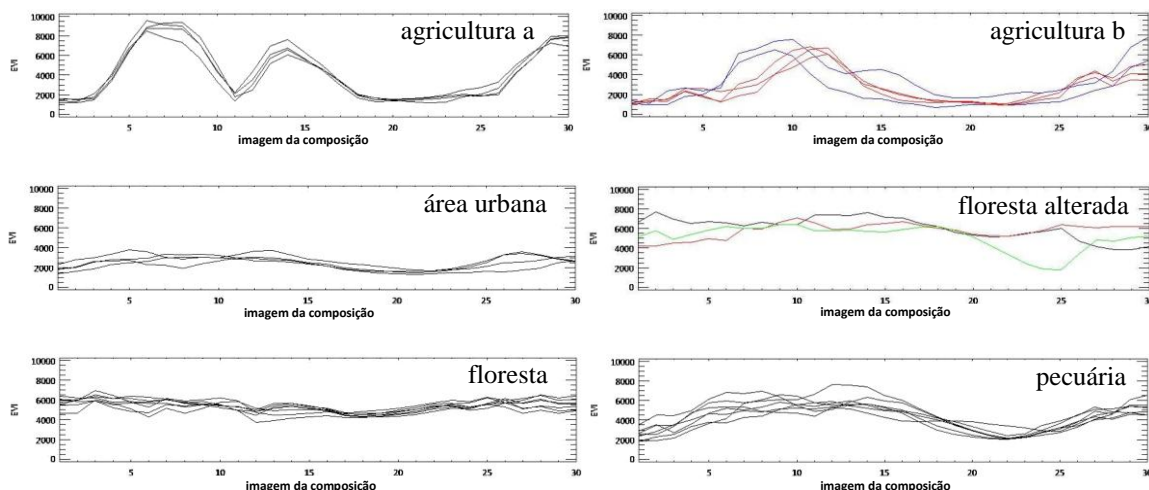


Figura 2. Exemplos de comportamento temporal do EVI de alguns tipos de uso da terra durante o período de 1 ano e 4 meses (30 imagens).

2.3 Construção da árvore de decisão

Após a seleção de um conjunto de gráficos representativos para cada tipo de uso, ou seja, gerados a partir de pixels com a maior predominância possível de determinado uso e sem efeitos ocasionados pelo limite com outro tipo de uso (efeito de borda), foi construída a árvore

de decisão. Esta consiste numa estrutura hierárquica de decisões binárias para decisão de qual uso da terra será atribuído a cada pixel (RSI, 2009).

Construída a árvore para o ano de 2009, a mesma foi aplicada para os oito anos anteriores, gerando assim, nove imagens classificadas. Posteriormente, algumas máscaras foram aplicadas com a finalidade de eliminar alguns erros de classificação devido à presença de ruídos nas imagens MODIS, sendo estas: máscaras de hidrografia e floresta geradas pelo PRODES (INPE) e ainda a máscara de não floresta excetuadas as áreas que em 2009 possuíam algum tipo de uso (identificado através de interpretação visual de imagens Landsat); máscara de hidrografia gerada pelo projeto RADAM Brasil (BRASIL, SIVAM/SIPAM, 2004); máscara de áreas urbanas, geradas a partir de interpretação visual de imagens Landsat de 2009; e máscara de áreas cultivadas com cana, gerada pelo projeto Canasat (RUDORFF et al., 2010). Aplicadas as máscaras, as imagens foram recortadas de acordo com o limite do bioma Amazônia e do estado do Mato Grosso.

2.4 Coleta de dados de campo

Duas expedições de campo terrestres e dois sobrevoos de baixa altitude foram realizados para coletar dados para a construção da árvore de decisão e para a validação dos resultados obtidos.

A primeira expedição de campo, bem como o primeiro sobrevoos, realizados em janeiro de 2010, tiveram o objetivo específico de identificar áreas desmatadas após 2006 cultivadas com soja, uma vez que foi realizado no escopo do monitoramento da moratória da soja (http://www.abiove.com.br/ss_moratoria_br.html). Esses dados foram utilizados para o treinamento da classificação, auxiliando na identificação do comportamento temporal do EVI de diferentes usos para a construção da árvore de decisão.

A segunda, realizada em junho do mesmo ano, foi definida através de abordagem amostral estratificada, consistindo em uma coleta sistemática baseada em regras estatísticas. Foram observados 643 pontos ao longo de estradas, em 12 municípios. O segundo sobrevoos, realizado em maio de 2010, teve como objetivo identificar diferentes usos, desflorestamento e degradação florestal, os dois últimos no âmbito da validação dos alertas de desmatamento gerados pelo IMAZON (SAD) para os meses de janeiro, fevereiro e março. Os dados de campo consistem em observações georreferenciadas, incluindo fotos e relatórios.

2.5 Pós-processamento das classificações

Outro método utilizado para detectar possíveis erros nos resultados obtidos foi a comparação interanual das classificações, observando-se as transições lógicas e não-lógicas. Por exemplo, uma área que em determinado ano tem como uso agricultura, no posterior floresta e depois volta a ser agricultura representa uma transição não-lógica, uma vez que o processo de regeneração da floresta não ocorre tão rapidamente. Outro exemplo de transição não-lógica é de floresta para pasto e para floresta novamente, em um curto intervalo de tempo. Todas as transições não-lógicas foram identificadas e reclassificadas de acordo com a classe lógica.

Uma das causas da ocorrência dessas transições não-lógicas é o efeito de borda, ocasionado pela presença de mais de um tipo de uso dentro de um mesmo pixel MODIS, fenômeno que pode causar erros nas classificações e, conseqüentemente, erros nas transições. Após o processo de reclassificação, foi utilizado o filtro de pós classificação “*sieve classes*” (RSI, 2009), cujo objetivo é eliminar os pixels isolados. Foram eliminados todos os conjuntos isolados menores de 3 pixels. Após esse procedimento, foi aplicado o filtro “*majority analysis*” (RSI, 2009), para incorporar os pixels eliminados pelo filtro anterior à classe vizinha.

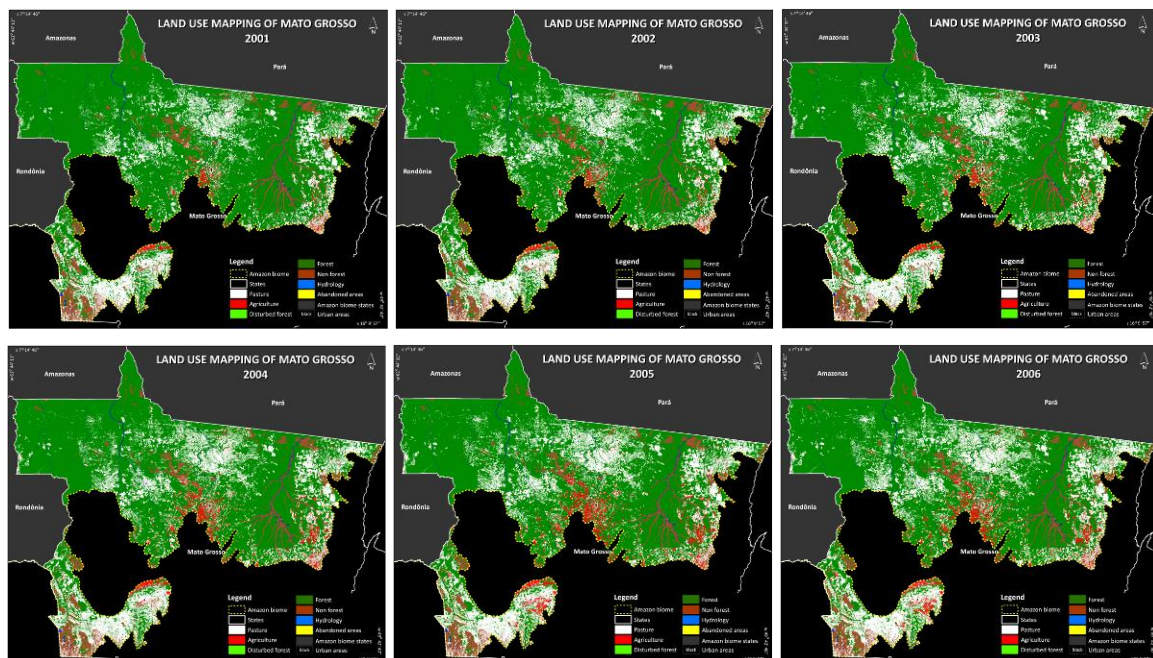
2.6 Validação dos resultados

Foi gerada uma matriz de confusão entre as amostras coletadas na segunda expedição de campo e o resultado da classificação para 2009. É importante ressaltar que erros de inclusão e omissão podem ter sido ocasionados pelo fato de os dados serem de anos diferentes (imagens = 2009; dados de campo = 2010).

Outro método utilizado para validação deu-se através de uma distribuição aleatória de pontos sobrepondo a série histórica de imagens Landsat dos 9 anos em análise, cujo uso foi identificado através de interpretação visual e dos dados coletados em diversos sobrevoos realizados. Foi gerada uma matriz de confusão entre esses pontos (que somaram o total de 1206) e as 9 imagens classificadas, e calculados o *kappa* e o Índice de Exatidão Global.

3. Resultados e discussão

As imagens classificadas de 2001 a 2009 são apresentadas na figura 3. Oito classes foram definidas como principais representações da composição de uso da terra na Amazônia, sendo estas: floresta, agricultura, pasto, floresta alterada, hidrografia, não floresta, área urbana e área abandonada. As classes floresta, agricultura, pasto e floresta alterada são provenientes do resultado da aplicação da árvore de decisão. A classe área abandonada resultou da análise interanual das classificações. Nos casos em que houve regeneração florestal, ou seja, em algum momento a área teve um uso e posteriormente foi classificada por anos consecutivos como floresta, foi realizada a reclassificação para a classe área abandonada. Um maior número de pixels dessa classe no ano de 2009 é explicado pelo fato de haver apenas 1 ano com permanência de floresta após o ano de 2008, o que não necessariamente significa que a área tenha sido abandonada. Essas áreas serão reclassificadas nos anos de 2011 e 2012, e caso permaneçam na classe floresta, serão confirmadas como áreas abandonadas.



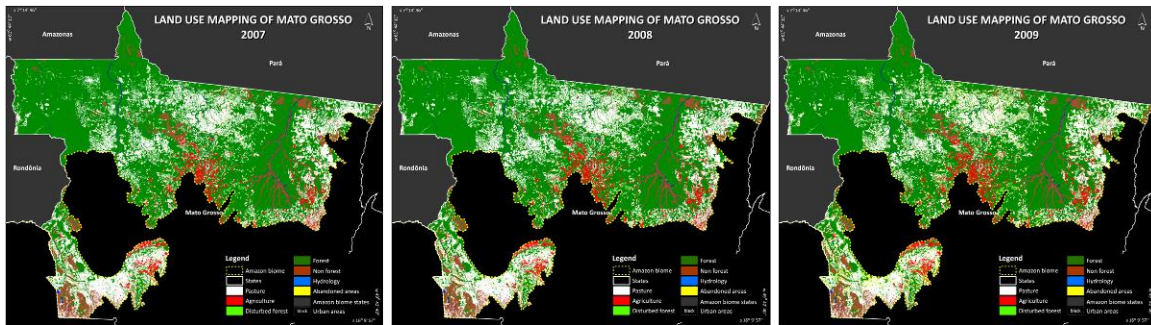


Figura 3. Resultado final da classificação de uso da terra para os anos 2001 a 2009.

O Índice de Exatidão Global obtido através da matriz de confusão entre os dados coletados em campo e os resultados da classificação da imagem de 2009 foi 94,9%, e o valor de *kappa*, 0,89, considerado excelente segundo Landis e Koch (1977). Já o Índice de Exatidão Global obtido através da matriz de confusão entre pontos aleatórios coletados em imagens Landsat e os resultados da classificação das imagens anuais, de 2001 a 2009, foi de 93,7%, enquanto o *kappa*, 0,93, também considerado excelente.

O gráfico a seguir (figura 4) contém as áreas (em km²) dos principais usos do solo, a saber, agricultura e pecuária, obtidas a partir da classificação. Os valores acima das linhas são relativos ao percentual de representação dos usos dentro da parcela do bioma Amazônia inserida no Mato Grosso.

Os dados obtidos condizem com os dados levantados através do censo agropecuário (IBGE, 2009), que quantifica a área de lavouras temporárias (plantadas) para todo o Brasil, os quais também podem ser visualizados na figura 4. As diferenças nos valores apresentados são justificadas pelo fato de o presente estudo considerar apenas áreas cultivadas dentro do bioma Amazônia, enquanto que os dados do IBGE contemplam todo o estado do Mato Grosso. O decréscimo ocorrido em 2006 e 2007 em relação a 2005 também condiz com os dados apresentados pelo IBGE.

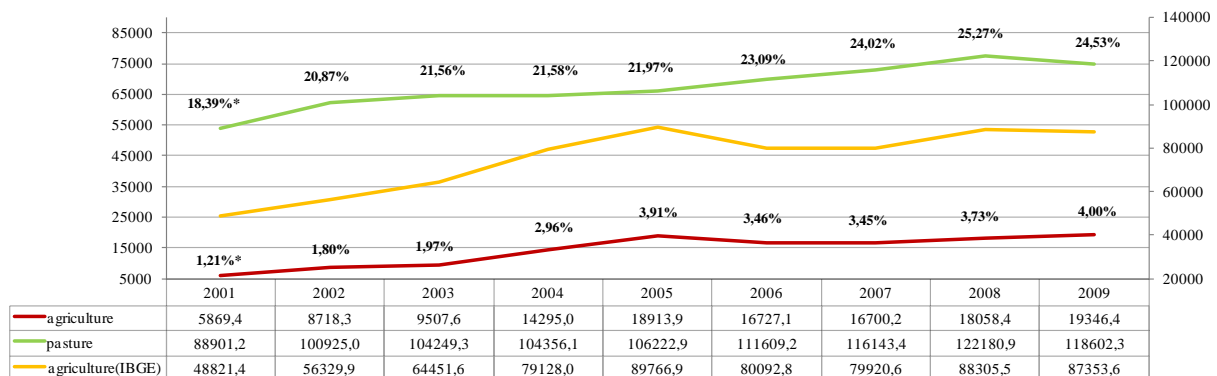


Figura 4. Gráfico contendo os quantitativos, em área (km²), de agricultura e pecuária obtidos a partir do método de classificação adotado, e ainda os valores publicados pelo IBGE, obtidos a partir do censo agropecuário.

Um aspecto importante a ser abordado refere-se às transições de uso da terra especificamente dentro do bioma Amazônia. Ao analisar a figura 4, é possível perceber que o mesmo padrão da curva de agricultura observado para o estado do Mato Grosso como um todo pode ser observado ao analisar-se apenas a porção dentro do bioma. Isso comprova que as conversões de uso da terra seguem a mesma tendência, independente do bioma em questão, para todo o estado. O decréscimo de 346.244 km² em 2001 para 279.184 km² em 2009 da

cobertura florestal demonstra ainda a ocorrência de substituição da floresta por outros tipos de uso, inclusive o agrícola.

É possível perceber um acelerado crescimento das áreas cobertas por agricultura até 2005, quando o incremento dessas áreas torna-se menos expressivo anualmente. Uma das causas prováveis da estabilização das áreas ocupadas por agricultura a partir de 2006 pode estar relacionada com a Moratória da Soja, compromisso assinado entre a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE) e Associação Nacional dos Exportadores de Cereais (ANEC), em união com a sociedade civil e iniciativa privada, que prevê a não comercialização da soja proveniente de desmatamentos ocorridos no Bioma Amazônico após a assinatura do acordo, em julho de 2006.

4. Conclusões

A metodologia abordada neste trabalho possibilitou o mapeamento do uso da terra na área de estudo, apresentando ótimos índices de concordância com os dados de uso coletados em campo. Uma das principais vantagens da adoção desta metodologia é o controle pelo intérprete do processo de classificação, uma vez que se faz necessário conhecer os comportamentos temporais do EVI de cada uso na etapa que antecede a construção da árvore de decisão, a fim de incorporar matematicamente tais comportamentos nas decisões binárias. Isso pode se tornar uma limitação, uma vez que exige um amplo levantamento de dados de campo que contemple todos os possíveis usos que ocorrem na área em análise.

Além de interativa, tal metodologia permite e depende do processo iterativo para o ajuste das decisões, a fim de obter-se maior concordância entre os resultados obtidos e o complexo mosaico de usos da terra na Amazônia.

Uma vez tendo sido analisadas 270 composições de 16 dias do produto EVI, gerando assim 9 mapas anuais de uso da terra, além da construção de uma base consistente que permite analisar as transições e compreender mais a respeito da dinâmica de uso da terra no bioma Amazônia, tal base fornece um arcabouço de informações que pode subsidiar trabalhos futuros de monitoramento operacional, em tempo quase real, de tais transições.

É importante ressaltar que a árvore de decisão foi gerada especificamente para a classificação da área do Bioma Amazônia contida no estado do Mato Grosso, não sendo aplicável, porém, a áreas diversas a esta. Isso ocorre uma vez que são utilizados parâmetros como média e variância, calculados a partir dos valores de EVI das cenas que cobrem a área de estudo, que podem diferir dos valores calculados para outras áreas.

A maioria dos estudos sobre uso da terra que utilizam o sensoriamento remoto como base de levantamento de dados, fundamentam-se em análises baseadas em um momento único ou aplicam uma detecção de mudanças entre dois momentos distintos. A importância deste estudo se dá em função da utilização de dados com alta resolução temporal, que permitiu a produção de mapas anuais de uso da terra ao longo de uma sequência de 9 anos. Os resultados permitem analisar as dinâmicas de transição, bem como o tempo de permanência dos usos com maior precisão. Especialmente nas discussões atuais sobre os impactos do uso da terra sobre diferentes regiões cobrindo ecossistemas como as florestas tropicais, e sobre as medidas de mitigação e/ou diminuição desses impactos, esses dados demonstram-se essenciais para a análise e tomada de decisão.

Como objetivo futuro tem-se a construção de um método generalista, aplicável à análise de uso da terra em qualquer área dentro do bioma Amazônia, e que permita, mesmo com a série histórica anual incompleta, classificar cada pixel segundo sua probabilidade de pertencer a determinada classe.

Agradecimentos

Ao Greenpeace Brasil e toda a equipe da Campanha Amazônia, pela viabilização de todas as etapas do projeto de monitoramento de uso da terra. Ao AMAZON, por ceder a série temporal georreferenciada de imagens Landsat TM. A SEMA/MT, por ceder as imagens SPOT.

Referências bibliográficas

Achard, F.; Eva, H.D.; Mayaux, P. Tropical forest mapping from coarse spatial resolution satellite data: production and accuracy assessment issues. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, p. 2741–2762, 2001.

Arvor, D.; Sant’Anna Neto, J. L.; Dubreuil, V.; Almeida, I. R.; Meirelles, M. S. P. Análise dos perfis temporais de EVI/MODIS para o monitoramento da cultura da soja no Estado de Mato Grosso, Brasil. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 51-58. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: < <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2007/01.31.19.10/doc/capa.htm>>. Acesso em 02 jun 2010.

Asner, G. P.; Knapp, D. E.; Balaji, A.; Páez-Acosta, G. Automated mapping of tropical deforestation and forest degradation: CLASlite. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 3, p. 1-24, 2009.

Brasil, SIVAM/SIPAM. **Banco de Dados IBGE** - versão 6 (derivado da recuperação dos dados originais do Projeto RADAMBRASIL). Serviço de Vigilância da Amazônia/Serviço de Proteção da Amazônia, Manaus, Amazonas, Brasil, 2004. (4 CDs)

Epiphânio, R. D. V. Avaliação da potencialidade das imagens MODIS na estimação da área de soja no Estado do Mato Grosso. 2007. 103 p. (INPE-15190-TDI/1299). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007.

Eva, H.D., Belward, A.S., Miranda E.E., Di Bella, C.M., Gonds, V., Huber, O., Jones, S., Sgrenzaroli, M. and Fritz, S. A landcover map of South America. **Global Change Biology**, v. 10, p. 731–744, 2004.

Friedl, M.A., McIver, D.K., Hodges, J.C.F., Zhang, X.Y., Muchoney, D., Strahler, A.H., Woodcock, C.E., Gopal, S., Schneider, A., Cooper, A. Baccini, A., Gao, F. and Schaaf, C. Global landcover mapping from MODIS: algorithms and early results. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 287–302, 2002.

Hansen, M., DeFries, R., Townshend, J.R.G., Sohlberg, R. Global land-cover classification at 1 km resolution using a decision tree classifier. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, p. 1331–1364, 2000.

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**, n. 83, p. 195-213, 2002.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Produção agrícola municipal - 2009**. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&o=11&i=P&c=1612>> Acesso em 05/07/2010.

Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). **Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – informações gerais e valores preliminares**. 2009. Disponível em <http://ecen.com/eee75/eee75p/inventario_emissoes_brasil.pdf>. Acesso em 19/11/2010.

Morton, D. C., DeFries R. S., Shimabukuro, Y. E., Anderson, L. O., Arai E., Espirito-Santo, F. B., Freitas, R., Morisette, J. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. **PNAS**, v. 103, n. 39, p. 14637-14641, 2006.

Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (PRODES). **PRODES – dados 2001-2009**. 2009. Disponível em < <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodes.php>>. Acesso em 05/04/2010.

RSI. **Environment for Visualizing Images - ENVI**. ver. 4.7. Boulder, CO, USA: ITT Industries. 2009.

Rudorff, B. F. T.; Aguiar, D. A.; Silva, W. F.; Sugawara, L. M.; Adami, M.; Moreira, M. A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sensing**, v. 2, p. 1057-1076, 2010.