

## **Monitoramento e detecção de desmatamentos no bioma Cerrado matogrossense utilizando imagens de multisensores.**

Gustavo Bayma Siqueira da Silva <sup>1</sup>  
Antonio Roberto Formaggio <sup>1</sup>  
Yosio Edemir Shimabukuro <sup>1</sup>  
Edson Eyji Sano <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - CEP:12227-010 - São José dos Campos - SP  
{bayma, formag, yosio}@dsr.inpe.br

<sup>2</sup> Embrapa Cerrados  
BR 020 Km 18, Cx. Postal 08223 - CEP: 73301-970 - Planaltina, DF  
sano@cpac.embrapa.br

**Abstract.** In the last decades, Brazil has become a global agricultural power and the Cerrado biome (Brazilian savanna) has been playing an important role in the Brazilian agriculture growth. To better analyze the biome human disturbance dynamics, it is necessary to develop and adopt effective methods of assessment and monitoring of land use and land cover changes. The goal is to provide adequate land cover classifications and implement an operational monitoring system in the Cerrado biome, since there is only a few attempts to control the degradation of this biome. This monitoring system can be accomplished using MODIS images, as this sensor has great potential for studies about the seasonal dynamics of Cerrado vegetation phytophysiologicals. Due to this new dynamics, the main objective of this work was to apply the PRODES and DETER like methodologies to detect and map deforestation in the Cerrado biome of Mato Grosso State, Brazil, using Landsat and MODIS data. The proposed methodology was able to detect correctly 65% of all MODIS detected polygons; this represented 74% of estimated area of deforestation. Also, it showed suitability to identify new deforested areas in both shrubland and forestland areas with a tendency to misclassify smaller polygons (< 50 ha) of deforestation.

**Palavras-chave:** monitoramento operacional, cobertura vegetal, formação florestal e savânica, modelo linear de mistura espectral, operational monitoring system, vegetation cover, forestland and shrubland formation, linear spectral mixing model

### **1. Introdução**

Nas últimas décadas, o Brasil tornou-se uma potência agrícola mundial e o bioma Cerrado passou a desempenhar um importante papel no desenvolvimento da agricultura brasileira. Cerca de 40% da conversão da área original deste bioma ocorreu em função de atividades como a pecuária e a agricultura (Sano et al., 2002; Sano et al., 2008). Para melhor análise da dinâmica de antropização desse bioma, é necessário desenvolver e adotar métodos efetivos de avaliação e acompanhamento temporal através da detecção de mudanças temporais. O objetivo é fornecer classificações adequadas do uso e cobertura do solo e implementar um sistema de monitoramento sistemático operacional do bioma Cerrado, já que apenas algumas tentativas de controlar a degradação desse bioma foram realizadas (Skole et al., 1994; Ferreira et al., 2005; Jepson, 2005).

Existe uma demanda crescente para o desenvolvimento de sistemas de monitoramento do Cerrado que podem ser semelhantes aos disponíveis para a Amazônia, como por exemplo, o PRODES e o DETER (Câmara et al, 2006; Shimabukuro et al, 2006). Este sistema de monitoramento para o Cerrado pode ser realizado utilizando imagens MODIS, dado que este sensor possui grande potencial para estudos sobre a dinâmica sazonal das fitofisionomias de Cerrado (Ratana et al., 2004). Semelhante à metodologia do DETER, alguns trabalhos têm demonstrado a capacidade

de dados MODIS para monitorar e detectar mudanças no uso e cobertura do bioma Cerrado (Galford et al., 2008).

O Estado do Mato Grosso ocupa uma posição de destaque na produção agrícola nacional, principalmente de soja. A expansão das atividades agrícolas é resultado da ocupação do Brasil Central, incentivado pelo Governo Federal no início da década de 70, do século passado, e pode ser considerada como um dos principais motivos da transformação da paisagem no Estado. Neste contexto, o objetivo principal do presente trabalho foi o de aplicar metodologias similares ao PRODES e ao DETER com vistas ao mapeamento e à detecção de desmatamentos no bioma Cerrado matogrossense, utilizando dados Landsat e MODIS, respectivamente.

## 2. Materiais e Métodos

O bioma Cerrado ocupa uma área aproximada de 206 milhões de hectares, localizada na porção central do Brasil. A cobertura vegetal possui um gradiente entre árvores e arbustos, arbustos e subarbustos, e entre subarbustos e estruturas herbáceas. Em termos de aspectos da vegetação, o Cerrado apresenta fisionomias diferentes reunindo formações florestais, savânicas e campestres. Fisionomicamente, floresta se refere às áreas onde as espécies arbóreas são predominantes, com dossel contínuo ou não. A savana representa as áreas com árvores e arbustos espalhados sobre um estrato gramíneo, sem dossel contínuo. Campo indica as áreas com espécies herbáceas e algumas arbustivas, sem árvores na composição da paisagem (Eiten, 1972; Ribeiro e Walter, 2008)

A área de estudo corresponde a uma porção do Estado do Mato Grosso (4.395 ha) localizada entre os meridianos 56°00' e 53°10' oeste e os paralelos 13°45' e 15°08' sul. Esta área de estudo foi escolhida, principalmente, pela presença das principais formações de Cerrado: campestre, savânica e florestal (Figura 1).

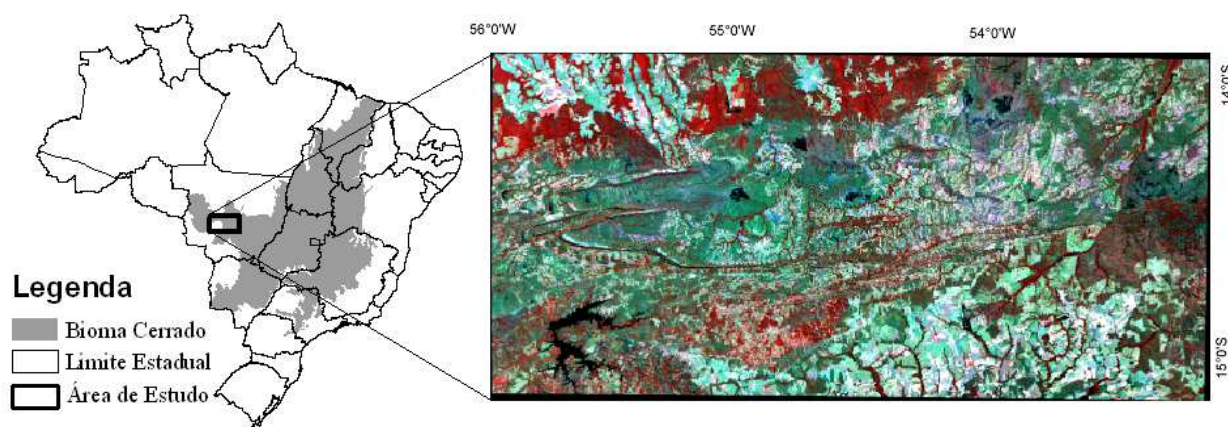


Figura. 1. Localização da área de estudo, TM/Landsat-5 composição 4(R), 5(G), 3(B), de julho de 2008.

O banco de dados (BD) foi criado com uma base cartográfica georeferenciada, no aplicativo SPRING 4.3 (Câmara et al., 1996). Nesta primeira etapa da metodologia, no BD foram computadas todas as áreas desmatadas em 1980, 1990, 2001 e 2008 da área de estudo, e para isto foram utilizadas imagens Landsat dos sensores MSS, TM, ETM+. Cabe ressaltar que as imagens TM e ETM+ foram reamostradas para 80m, em função da resolução espacial das imagens do sensor MSS. O objetivo aqui foi o levantamento de áreas previamente alteradas, em função de áreas de pastagem e de culturas agrícolas. De

forma análoga ao PRODES que ao demarcar o desmatamento de um ano  $i$ , utiliza como máscara os desmatamentos classificados no ano  $i-1$ .

O mapa de desmatamento até 2008 foi utilizado como máscara no processamento das imagens MODIS, de forma que um desmatamento já computado não fosse detectado novamente nos processos de detecção nas imagens MODIS, sendo esta a segunda etapa da metodologia. Esta etapa consistiu na coleta de imagens diárias do sensor MODIS, produto MOD09 com 250m de resolução espacial, de 1º de setembro de 2008 a 31 de agosto de 2009. Das 365 imagens disponíveis apenas 49 foram selecionadas devido à cobertura de nuvens. Nesta etapa foi aplicado o Modelo Linear de Mistura Espectral (Shimabukuro e Smith, 1991) nas imagens disponíveis e foi escolhida a imagem-fração sombra, por esta ser a fração que possui maior capacidade de discriminação entre vegetação natural e antropogênica (pastagens e áreas agrícolas) do Cerrado (Silva et al., 2010). A etapa de validação consistiu na sobreposição dos polígonos detectados nas imagens Landsat obtidas após a última imagem MODIS utilizada no processo de detecção. O mapa da cobertura vegetal do bioma Cerrado (Sano et al., 2009) foi utilizado para identificar em qual formação do bioma, floresta ou savana, os polígonos de desmatamento foram detectados e em qual das formações a metodologia foi mais eficiente. O processo de detecção, classificação e validação está apresentado na Figura 2.

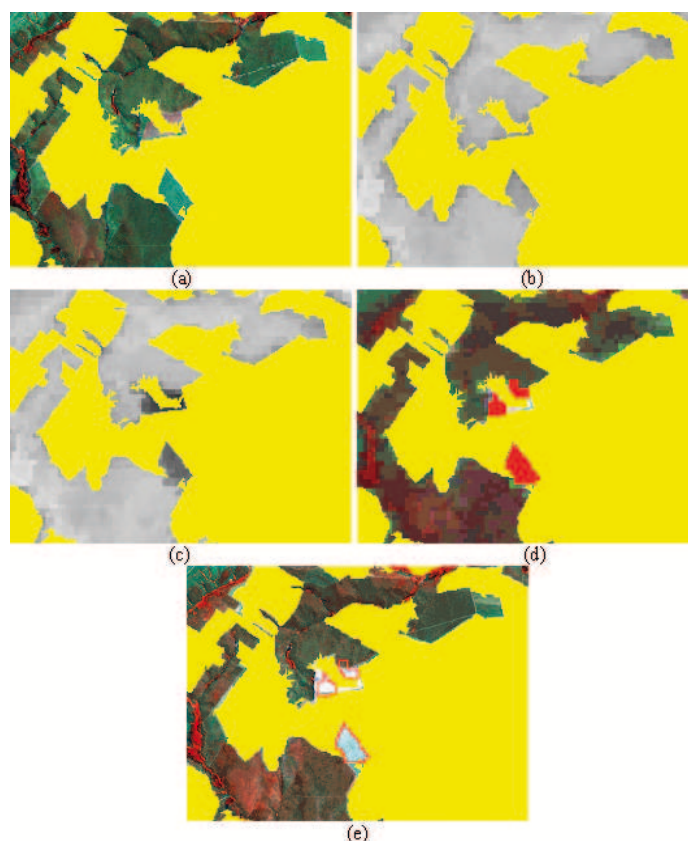


Figura 2. Processo de detecção, classificação e validação: a) R (4) G (5) B (3) TM/Landsat de agosto de 2008, com a máscara de não-Cerrado até 2008 (em amarelo); b) imagem-fração sombra de setembro de 2008 e máscara de não-Cerrado até 2008 (em amarelo); c) imagem-fração sombra de julho de 2009, máscara de não-Cerrado até 2008 (em amarelo) e polígono de desmatamento em tons escuros; d) imagem MODIS R (2) G (6) B(1), setembro de 2009, máscara de não-Cerrado até 2008 (em amarelo); e e) R (4) G (5) B (3) TM/Landsat de agosto de 2009, mostrando as linhas dos polígonos de desmatamento em vermelho.

### 3. Resultados e Discussão

Os resultados são discutidos em duas etapas: a) mapeamento do desmatamento, utilizando imagens Landsat, nos anos de 1980, 1990, 2001 e 2008; e b) detecção em tempo quase-real de desmatamentos utilizando imagens MODIS. A estimativa das áreas desmatadas obtidas através da interpretação dos mosaicos de imagens Landsat é apresentada na Figura 3.

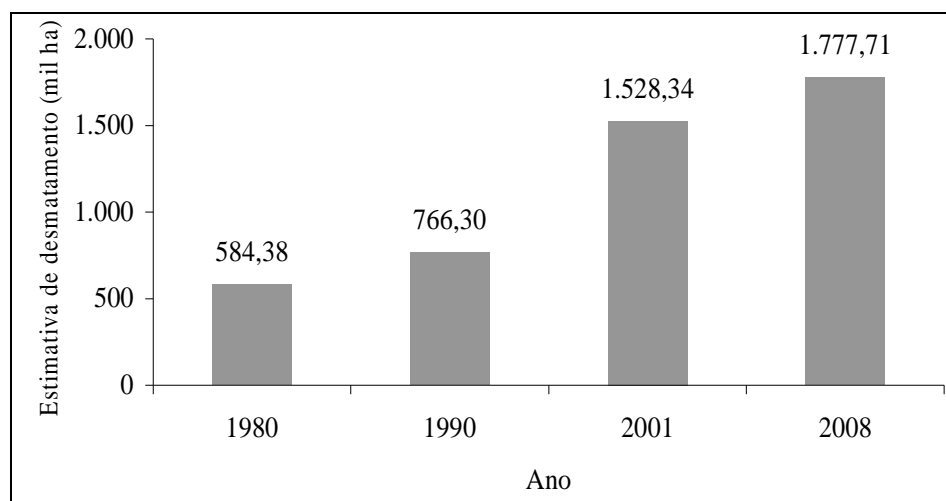


Figura 3. Áreas desmatadas na área de estudo estimadas através da interpretação de imagens Landsat, de 1980 a 2008.

Cabe ressaltar que o período de 1990 a 2001 apresentou crescimento de 99,5% nos desmatamentos seguido por um período (2001 a 2008) que apresentou 16,5% de crescimento, indicando uma considerável redução. A média anual de desmatamento do período analisado foi de 166.311 ha. As informações sobre áreas desmatadas são importantes devido ao fato de que este bioma tornou-se um local recente para a expansão agrícola, com conseqüentes alterações no uso e cobertura do solo. Uma das conseqüências das mudanças no uso e cobertura do solo é a modificação do fluxo original de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

As estimativas do total e das áreas de desmatamento detectadas corretamente, avaliadas através do processo de validação, podem ser observadas na Figura 4. Dos 204 polígonos (22.921 ha) interpretados como desmatamento, 133 destes (17.147 ha) foram classificados corretamente, correspondendo a 65% do total de polígonos detectados e 74,8% do total da área desmatada. A máscara de não-Cerrado, desmatamentos até o ano de 2008 obtidos das imagens Landsat, foi utilizada para que uma área desmatada não fosse contabilizada como desmatamento novamente na detecção via imagens MODIS.

Os meses de agosto, setembro e junho foram os que apresentaram maiores erros na interpretação dos polígonos detectados: 50,7%; 52,1%; e 42,9%, respectivamente. Era esperado que nestes meses, que correspondem ao período seco da área de estudo (RADAMBRASIL, 1982), a interpretação dos polígonos fosse dificultada em função da similaridade do comportamento espectral de algumas classes, principalmente as áreas de formação savânica e áreas de pastagens. Apesar deste período do ano ser indicado para discriminação entre classes de Cerrado e de não-Cerrado (áreas de pastagens e agrícolas) (Silva et al., 2010), esta imprecisão indica que o intérprete deve conhecer e compreender a dinâmica e o comportamento espectral das classes naturais e antropogênicas do bioma.

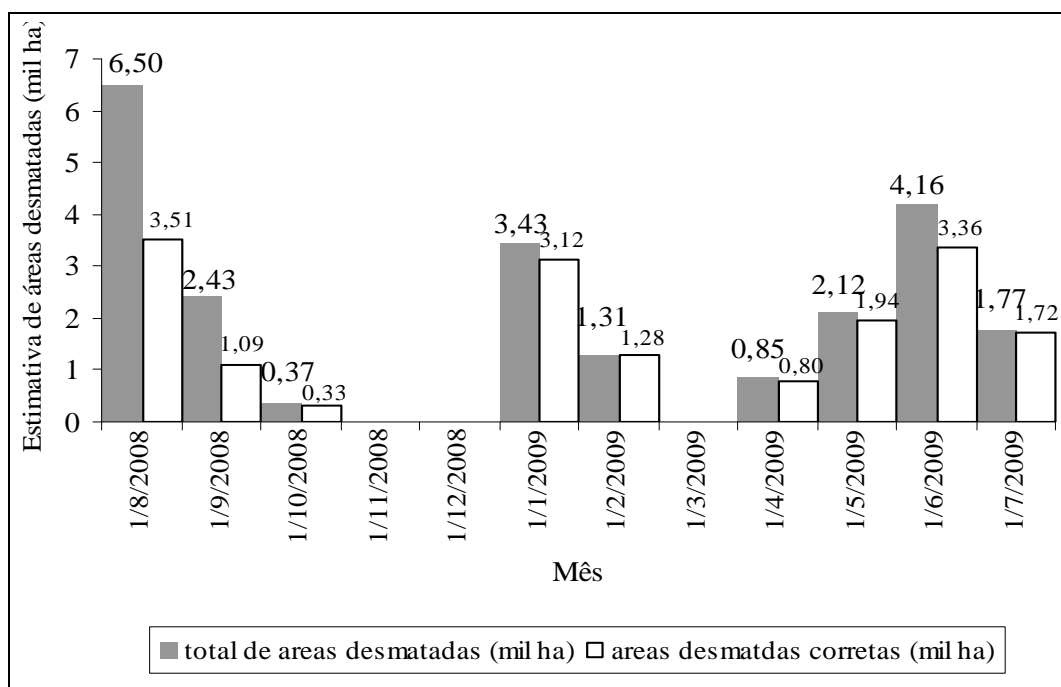


Figura 4. Áreas desmatadas detectadas através de imagens MODIS. As barras na cor cinza indicam o total de área estimada dos polígonos detectados e as barras na cor branca indicam as estimativas de áreas dos polígonos corretamente classificados como desmatamento.

O total de polígonos desmatados (204) foi agrupado em seis classes, sendo: <50 ha; 50 - 100 ha; 100 - 150 ha; 150 - 200 ha; 200 - 250 ha e >250 ha. A classe que apresentou mais erros foi a correspondente as áreas menores que 50 ha (69%), com as outras classes apresentando os maiores erros na ordem de 25% dos polígonos (Figura 5).

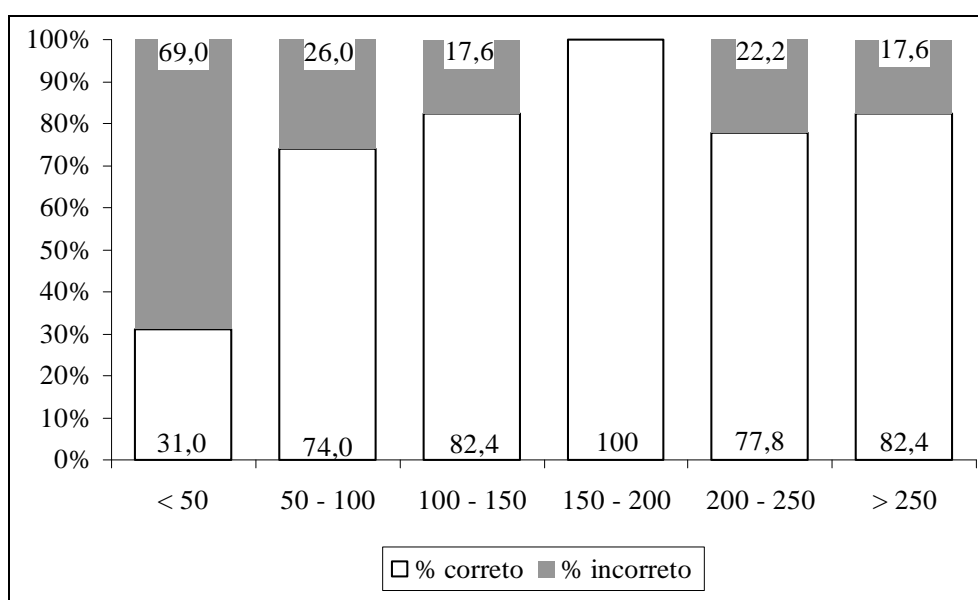


Figura 5. Classes de polígonos de desmatamento em porcentagem.

A sobreposição dos polígonos detectados nas imagens MODIS sobre o mapa da cobertura vegetal do bioma Cerrado indicou quais formações de Cerrado apresentaram o maior percentual de polígonos detectados corretamente. Os resultados mostraram que a

formação savânica foi a formação em que a metodologia apresentou melhor desempenho, com 81,9% de polígonos detectados de forma correta (7.053,1 ha). As detecções em formações florestais apresentaram acerto de 74,3%, ou 10.094,6 ha, dos polígonos classificados como desmatamentos.

Os polígonos classificados incorretamente corresponderam a 18,1% (1.564 ha) e 25,5% (3.480 ha), respectivamente. Os erros em áreas de formações florestais podem ser influenciados pelo efeito da borda que é maior no contato entre formações florestais e áreas antropogênicas do que destas e as formações savânicas. Futuras pesquisas devem ser realizadas com vistas a uma argumentação mais detalhada sobre este comportamento.

Para uma análise estatística foi realizado um teste Z para o cálculo da magnitude da diferença entre as classes de vegetação. Os resultados mostram que para 5% de significância não há evidências de que as proporções sejam diferentes, ou seja, a metodologia é indicada para detectar desflorestamentos em áreas de formação savânica e florestal.

#### **4. Conclusões**

Neste trabalho foi aplicada uma metodologia similar ao PRODES e ao DETER visando o monitoramento sistemático do bioma Cerrado. A metodologia proposta apresentou-se promissora, apesar da dinâmica de uso e ocupação do solo no bioma. A primeira etapa consistiu na estimativa do desmatamento anual utilizando imagens de 30m resolução espacial. A segunda etapa visou a detecção em tempo quase-real de novas áreas de desmatamento, utilizando imagens de 250m de resolução espacial. Estas informações acerca de novos desmatamentos é fundamental para o governo federal implementar políticas públicas de conservação dos recursos naturais.

A metodologia foi capaz de detectar corretamente 65% de todos os polígonos detectados nas imagens MODIS, o que representava 74% da área estimada de desmatamento, e é indicada para detectar novas áreas desmatadas tanto em áreas de formações savânicas como em áreas de formações florestais de Cerrado. Entretanto, a metodologia mostrou uma tendência de erro maiores em áreas desmatadas menores que 50 hectares.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao senhor Paulo Martini pela cessão das imagens MSS/Landsat utilizadas neste trabalho.

#### **Referências Bibliográficas**

Câmara, G.; Freitas, U.; Souza, R. C. M.; Garrido, J. SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS by Object – Oriented Data Modeling. **Computers and Graphics**, v. 15, n.6, 1996.

Câmara, G.; Valeriano, D. M.; Soares, J. V. **Metodologia para o cálculo da taxa anual de desmatamento na Amazônia Legal**. INPE, 24p. (<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>). 2006.

Eiten, G. The cerrado vegetation of Brazil. *Botanical review*. v. 38, n. 2, p. 201-341, 1972.

Ferreira, M.E.; Ferreira Júnior, L.G.; Ferreira, N.C. (Coord.). Sistema Integrado de Alerta de Desmatamento para o Estado de Goiás – SIAD. Goiânia: UFG, 2005. 72p.

Galford, G. L.; Mustard, J. F.; Melillo, J.; Gendrin, A.; Cerri, C.; Cerri, C. E. P. Cerri, Wavelet analysis of MODIS time series to detect expansion and intensification of row-crop agriculture in Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v.112, n. 2, p. 576-587, 2008.

Jepson, W. A disappearing biome? Reconsidering land-cover change in the Brazilian savanna. **The Geographical Journal**, v. 171, n. 2, p. 99-111, 2005.

RADAMBRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Folha SD 21: Cuiabá. geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: DNPM. 540p. (Levantamento dos Recursos Naturais, 26), 1982.

Ratana, P.; Huete, A. R.; Jacobson, A.; Yin, Y.; Didan, K. Investigation of Spatio-temporal Vegetation Variations and Conversion along an Amazon Eco-climatic Transect using MODIS VI Time Series. In: *MODIS Vegetation Workshop, 2*.Montana –EUA. **Proceedings...** Montana – EUA, 2004.

Sano, E. E.; Barcellos, A. O.; Bezerra, H. S. Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian savanna. **Pasturas Tropicales**, v. 22, n. 3, p. 2–15, 2002.

Ribeiro, J. F.; Walter, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S. M.; Almeida, S. P.; Ribeiro, J. F. **Cerrado. Ecologia e Flora**. Brasília: Embrapa Cerrados e Embrapa Informação Tecnológica, cap. 6, p. 153-212, 2008.

Sano, E. E.; Barcellos, A. O.; Bezerra, H. S. Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian savanna. **Pasturas Tropicales**, v. 22, n. 3, p. 2–15, 2002.

Sano, E. E.; Rosa, R.; Brito, J. L. S.; Ferreira, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 153-156, 2008.

Sano, E. E.; Rosa, R.; Brito, J. L.; Ferreira, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, p. 113-124, 2009.

Skole, D. L.; Chomentowski, W. H.; Salas, W. A.; Nobre, C. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. **BioScience**, v. 44, n. 5, p. 314-322, 1994.

Shimabukuro, Y. E.; Duarte, V.; Anderson, L. O.; Valeriano, D. M.; Arai, E.; Freitas, R. M. Near real time detection of deforestation in the Brazilian Amazon using MODIS imagery. **Revista Ambi-Água**, v.1, p. 37–47, 2006.

Shimabukuro, Y. E.; Rudorff, B. F. T.; Ponzoni, F. J. A cobertura vegetal vista do espaço: uma ferramenta para a preservação. **Floresta e ambiente**. v. 5, n.1, p. 195-198, 1998.

Shimabukuro, Y. E.; Smith, J. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p. 16-20, 1991.

Silva, G. B. S.; Formaggio, A. R.; Shimabukuro, Y. E.; Adami, M.; Sano, E. E. Discriminação da cobertura vegetal do Cerrado matogrossense por meio de imagens MODIS Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 2, p. 186-194, 2010.