

## Avaliação das imagens do produto MCD45 do sensor MODIS para a identificação de áreas queimadas

Francielle da Silva Cardozo<sup>1</sup>  
André Lima<sup>1</sup>  
Gabriel Pereira<sup>1</sup>  
Fabrício Brito Silva<sup>1</sup>  
Yosio Edemir Shimabukuro<sup>1</sup>  
Mariane Mayumi Garcia Takeda<sup>1</sup>  
Elisabete Caria Moraes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{cardozo, andre, gabriel, fabricio, yosio, takeda, bete}@dsr.inpe.br

**Abstract.** The fire activity is one of the most important types of the vegetation conversion, releasing carbon stocks into the atmosphere and causing changes in the biosphere-atmosphere components. Therefore, the mapping and quantitative information about the spatial and temporal distribution of these events are of fundamental importance, not only for forest and land resources, but to assist in the representation of the physical-chemical and biological in the atmospheric models and studies of climate change. Thus, this study evaluated the product MCD45A1 of MODIS sensor, which represents the daily burned areas, by comparing this product with the mapping done using Linear Spectral Mixture Model (MLME) in one image of surface reflectance (MOD09GA) of MODIS and in one TM/Landsat-5 image considered as reference data. The mapping realized using MOD09GA product omitted 56.51% and included 79.78% of the burning areas when comparing with the reference image. The results of MCD45A1 product proved to be worse, because the commission error was 2.31% and the omission error was 96.36%. This error can be coupled to the interference of the clouds optical depth and plumes, the lack of data from sensors at the time of a fire occurrence and especially to the spatial resolution conflicts, since the majority fires that occur in South America are smaller than the spatial resolution of 500 meters of the product. So most of the burned areas occurring in Brazil are not detected by the MODIS product MCD45A1.

**Palavras-chave:** remote sensing, fires, mapping, deforestation, sensoriamento remoto, incêndios, mapeamento, desmatamento.

### 1. Introdução

As queimadas são um dos mais importantes tipos de conversão da cobertura vegetal, utilizadas nas práticas de renovações de pastagens e no desmatamento. Essas práticas ocasionam a destruição dos recursos florestais e terrestres, causam o lançamento de estoques de carbono da superfície terrestre para a atmosfera (Sellers et al., 1995) e provocam sérias alterações nas componentes biosfera-atmosfera (Crutzen e Andreae, 1990; Werf et al., 2006; Fearnside et al., 2009), principalmente devido às mudanças na rugosidade da superfície, no índice de área foliar e em outros parâmetros biofísicos associados com a cobertura da terra.

As áreas queimadas podem ser caracterizadas por depósitos de carvão e cinzas e pela remoção e alteração da estrutura da vegetação, sendo que a permanência do carvão e das cinzas variam em função do clima, do regime do fogo e da carga do combustível, enquanto que a permanência do sinal da cicatriz dependerá da produtividade primária local e da recuperação da vegetação (Pereira et al., 1997).

Neste quesito, o mapeamento das áreas queimadas e as informações quantitativas sobre a distribuição espacial e temporal dos eventos são de fundamental importância, não só para o manejo florestal e dos recursos terrestres, mas também para auxiliar na melhor representação das características físico-químicas e biológicas nos modelos atmosféricos e para os estudos de mudanças climáticas (Zhan et al., 2002).

Os sensores orbitais têm sido utilizados para monitorar as queimadas há muitos anos, proporcionando maior compreensão sobre os processos em diferentes escalas e fornecendo o único meio prático de monitoramento de queimadas em grandes áreas (Roy, 2002). Porém, os métodos de sensoriamento remoto utilizados possuem limitações que tendem a causar erros nos produtos finais (Eva e Lambin, 1998), sendo que um dos principais fatores influenciadores é a presença de nuvens, que reduzem significativamente a capacidade de detectar uma queimada devido à atenuação do sinal espectral emitido por uma chama ou as fases latentes da combustão da biomassa (Schroeder et al., 2008).

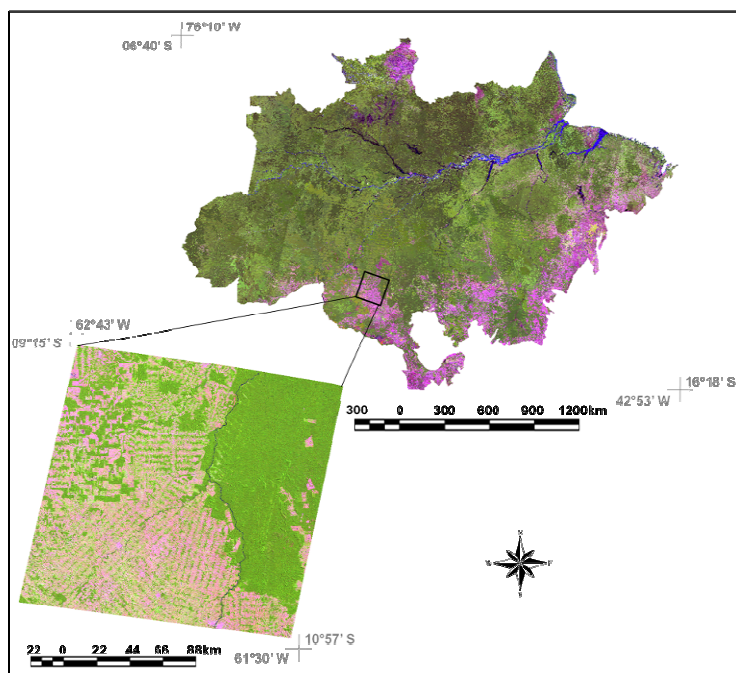
Portanto, faz-se necessário a correta quantificação dos eventos de queimadas, principalmente para a compreensão da dinâmica do uso e cobertura da terra, podendo-se assim subsidiar programas ambientais regionais, bem como fornecer informações para a modelagem das estimativas de emissões provenientes da queima de biomassa.

Com o lançamento dos satélites Terra e Aqua portando o sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), em 1999 e 2002, respectivamente, iniciou-se uma nova perspectiva para o monitoramento e detecção de queimadas (Justice et al., 2002; Roy et al., 2002; Zhan et al., 2002). Este sensor possui uma série de características melhoradas em relação a outros sensores, como, por exemplo, uma melhor resolução espectral e radiométrica (Justice et al., 2002), além de também apresentar uma melhor resolução espacial nas bandas espectrais da região do visível e infravermelho próximo e médio (comparados à satélites geoestacionários) e uma alta resolução temporal (1 a 2 dias).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi a avaliação do produto MCD45A1 do sensor MODIS, que representam as áreas queimadas obtidas diariamente, comparando-se este produto com as áreas queimadas mapeadas utilizando o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) em imagens de reflectância da superfície (MOD09GA) do sensor MODIS e com os dados considerados como verdade terrestre obtidos do mapeamento das áreas queimadas em uma imagem TM/Landsat-5, órbita/ponto 231/67, referente à área nordeste do Estado de Rondônia.

## **2. Área de Estudo**

O local de estudo refere-se à área nordeste do Estado de Rondônia, localizado nas coordenadas geográficas 09°15' 10°57' de latitude sul e 62°43' 61°30' de longitude oeste, conforme Figura 1.



**Figura 1.** Localização da área de estudo.

Vários fatores foram determinantes para a ocupação do Estado de Rondônia, principalmente a partir da década de 1960, com o estabelecimento de leis que promoveram o desenvolvimento sócio-econômico da Amazônia brasileira. Neste conjunto de leis, surgiram planos para a agricultura e pecuária que inicialmente foram implantados na região sudoeste da Amazônia, onde o Estado de Rondônia é uma parte importante, iniciando então o processo de intervenção antrópica sobre a floresta (Silva et al., 2005).

O desflorestamento que ocorre na região desde a década de 1960 é causado por alguns fatores em particular, como a migração da população, atraídas pela política de colonização desenvolvida pelo governo da época, causando um crescimento populacional de 324% até 1980; o crescimento da indústria madeireira, que aliadas às melhorias nas estradas propiciaram maior acesso aos agricultores às áreas até então inacessíveis; o desmatamento que começou a se expandir para o interior do Estado, até então concentrado na área central; e as queimadas causadas pela população no manejo de pastagens e áreas agrícolas (Batista, 2001).

Portanto, o estudo nessa região torna-se necessário, pois essas ações praticadas desde a década de 60 ainda ocorrem atualmente, principalmente em relação às queimadas, que se expandem todos os dias por áreas que ainda não foram desmatadas. Nesse quesito, a avaliação da eficiência em detectar áreas queimadas pelos produtos existentes é de fundamental importância.

### 3. Metodologia de Trabalho

Neste trabalho foram utilizadas imagens do sensor MODIS, referente ao produto MCD45A1, assim como o banco de dados utilizado do trabalho de Lima et al. (2009), contendo o mapeamento das áreas queimadas do bioma Amazônia a partir de imagens de refletância da superfície do sensor MODIS e de uma imagem TM/Landsat-5, ambos os mapeamentos realizados para o ano de 2005.

O banco de dados de Lima et al. (2009) abrangia a Amazônia em sua totalidade, localizada entre as coordenadas geográficas 74°05'W a 42°30'W e 60°00'N a 18°00'S. Neste banco, as imagens do sensor MODIS utilizadas para o mapeamento das queimadas corresponderam ao produto MODGA09, referente à refletância espectral da superfície em 7 bandas com resolução espacial de 500 metros. O processamento das imagens MODIS para a

identificação das cicatrizes de queimadas consistiu no uso do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), seguidas da segmentação (similaridade 8 e área 4), classificação não supervisionada por regiões (ISOSEG) e edição da classificação. A edição manual do mapa gerado automaticamente foi realizada com o intuito de minimizar os erros de inclusão e omissão inerentes à classificação automática de imagens, assegurando, assim, a confiabilidade do mapeamento (Lima et al., 2009).

A imagem TM/Landsat-5 do banco de dados refere-se à órbita/ponto 231/67, possuindo resolução espacial de 30 metros e abrangendo a área nordeste do Estado de Rondônia. Todos os procedimentos utilizados no mapeamento das queimadas das imagens do sensor MODIS foram aplicados na imagem do sensor TM, que neste trabalho foi utilizada como verdade terrestre, ou seja, eleita como a referência para a validação dos outros mapeamentos por possuir melhor resolução espacial.

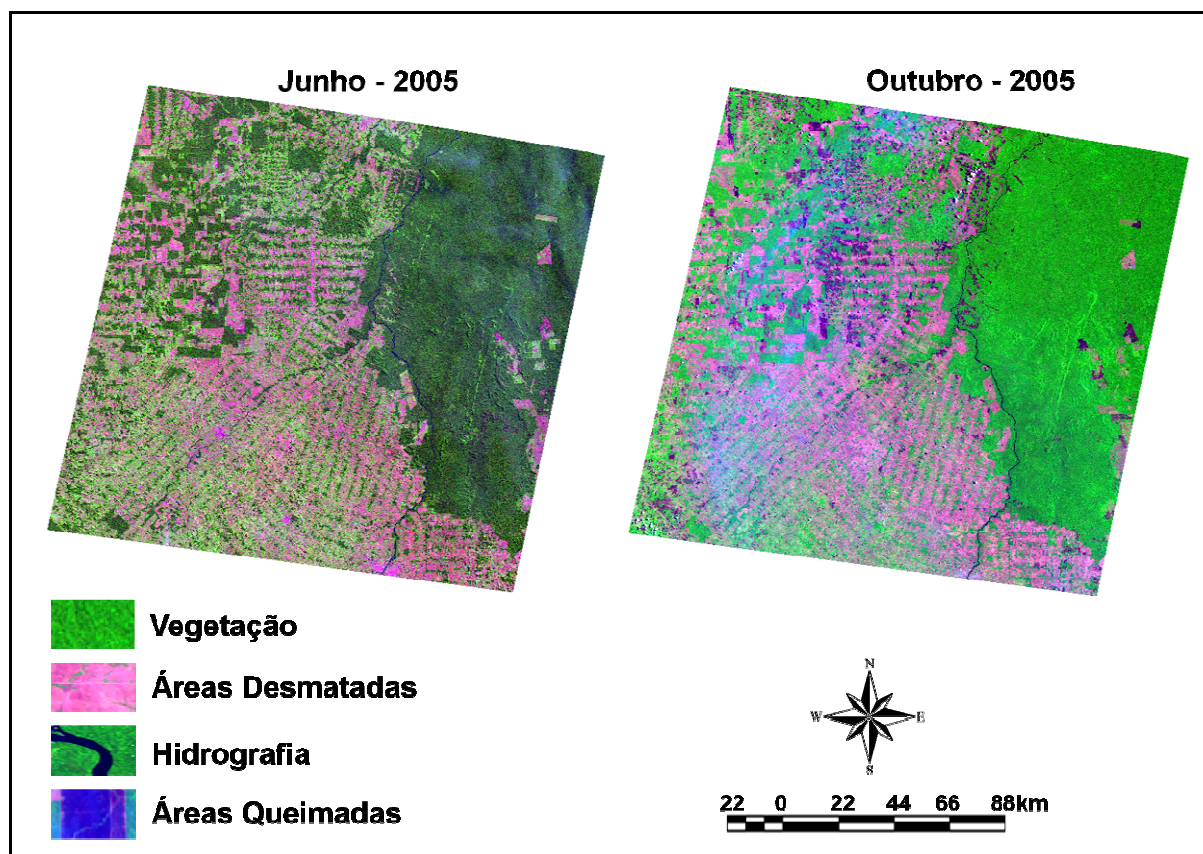
O produto avaliado neste trabalho refere-se ao MCD45A1 do sensor MODIS, que representam as áreas queimadas obtidas diariamente, possuindo resolução espacial de 500 metros, sendo que essas imagens são compostas por um mosaico mensal, representando 12 imagens referentes ao ano de 2005. As imagens utilizadas no trabalho corresponderam aos *tiles* V9, V10 e H11, correspondentes ao Estado de Rondônia.

O pré-processamento das imagens ocorreu através da conversão dos dados em formato *Hierarchical Data Format* (HDF) para geotiff, utilizando-se para isso o aplicativo *MODIS Reprojection Tool* (MRT), onde foram realizados os mosaicos e o recorte da área de estudo. Após as etapas de pré-processamento, as imagens do produto MCD45A1 em formato geotiff foram inseridas no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), no qual foi realizado em fatiamento para transformar as áreas queimadas em polígonos fechados.

Como o produto avaliado possui 500 metros de resolução espacial e a imagem de referência possui 30 metros, foi realizada uma degradação da imagem TM para 500 metros, com o intuito de padronizar todos os produtos em uma mesma escala, facilitando assim a análise e comparação entre eles. Posteriormente, foi realizado um recorte para as coordenadas da imagem do sensor TM nas imagens de refletância da superfície (MOD09GA) e nas imagens das áreas queimadas (MCD45A1), onde então as mesmas foram finalmente compradas através da tabulação cruzada.

#### **4. Resultados e Discussão**

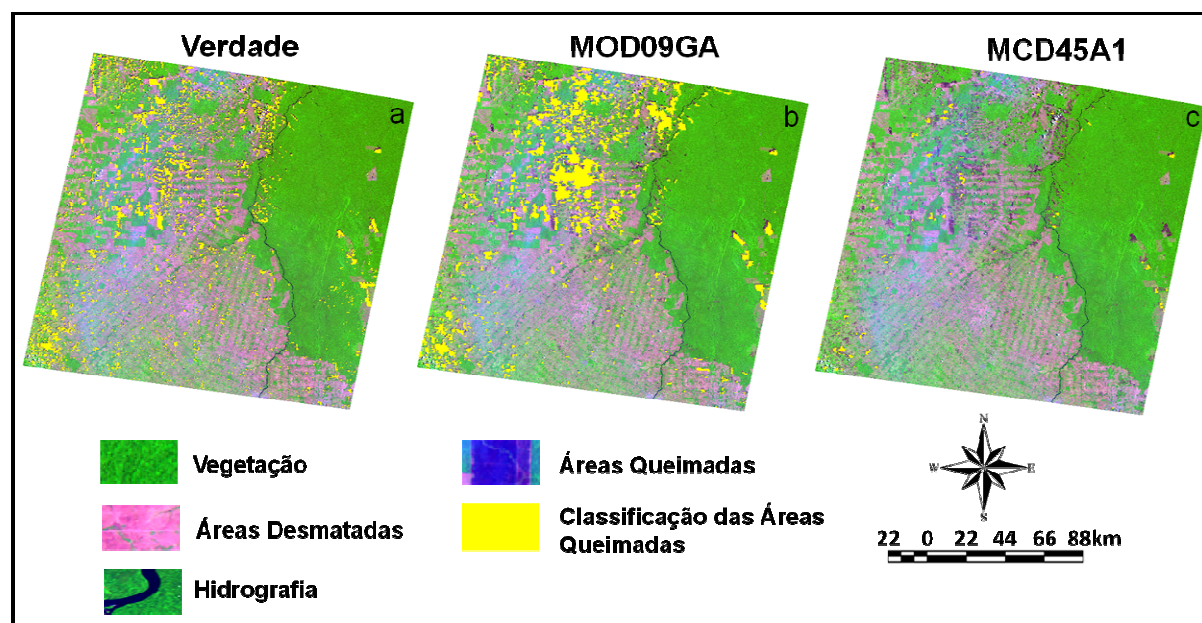
A Figura 2 mostra as imagens do sensor TM na área nordeste do Estado de Rondônia em dois períodos distintos. Em junho de 2005 notam-se grandes áreas desmatadas características da região, que segundo Carriello e Rodriguez (2009), representam 80% da imagem em 2005. A dinâmica da ocorrência de desmatamento é comprovada pela imagem referente ao período de outubro de 2005 na Figura 2, onde nota-se que após quatro meses essa área encontra-se novamente em processo de intensas queimadas.



**Figura 2.** Imagens do sensor TM para a área nordeste do Estado de Rondônia em junho e outubro de 2005.

A Figura 3 mostra o mapeamento das áreas queimadas na região nordeste de Rondônia para o ano de 2005 a partir dos três produtos utilizados no trabalho. As Figuras 3(a), 3(b) e 3(c) representam a imagem do sensor TM/Landsat-5, considerada neste trabalho como verdade, ou referência, por possuir melhor resolução espacial. As áreas em amarelo que aparecem nas imagens representam o mapeamento realizado a partir dos três produtos utilizados. As áreas em amarelo na Figura 3(a) representam o mapeamento realizado a partir do MLME e posterior edição manual na imagem de referência, na Figura 3(b) representa o mapeamento realizado pelo MLME e posterior edição manual nas imagens de refletância da superfície do sensor MODIS, e na Figura 3(c) as áreas em amarelo mostram as áreas queimadas obtidas do produto MCD45A1 do sensor MODIS que está sendo avaliado neste trabalho.





**Figura 3.** Mapeamento das áreas queimadas na região nordeste de Rondônia no ano de 2005. Imagens do sensor TM/Landsat-5 (a, b e c). As áreas em amarelo representam o mapeamento realizado na imagem de referência (a); na imagem de reflectância da superfície do sensor MODIS (b); e as áreas queimadas obtidas do produto MCD45A1 do sensor MODIS (c).

Como exposto anteriormente, o mapeamento das áreas queimadas, tanto na imagem do sensor TM, quanto na imagem do produto MOD09GA (refletância da superfície) do sensor MODIS, foram realizadas a partir do MLME e posterior edição manual. As áreas queimadas mapeadas na imagem de referência totalizaram 1.756 km<sup>2</sup> e na imagem do produto MOD09GA totalizaram 2.165 Km<sup>2</sup>. Em relação ao MCD45A1, o total de áreas queimadas fornecida pelo produto foi de 157 km<sup>2</sup>.

Comparando-se o mapeamento da imagem de referência com o do produto MOD09GA, os dois coincidem em 43,48% do total, sendo que na imagem MOD09GA as queimadas foram omitidas em 56,51% e inseridas em 79,78% dos casos. Neste caso, o mapeamento realizado neste produto deixou de classificar queimadas em mais de 50% da área e inseriu queimadas em áreas que não foram expostas ao fogo em quase 80%, sendo que esses resultados equivalem a um erro de 985 km<sup>2</sup> de omissão e 1.727 km<sup>2</sup> de inclusão.

Ainda, ao comparar-se o mapeamento da imagem de referência com o do produto MCD45A1, que fornece as áreas queimadas automaticamente, os resultados mostram que os mapeamentos coincidem em apenas 6,63%, sendo que o produto MCD45A1 inseriu áreas queimadas em locais não queimados em 2,31% e omitiu as áreas queimadas em seu produto em 96,36%, o que equivale a um erro de inclusão de 3,63 km<sup>2</sup> e um erro de omissão de 1.628 km<sup>2</sup>.

O erro na acurácia em detectar áreas queimadas, que ocasiona uma alta omissão das mesmas em regiões de florestas brasileiras pelo produto MCD45A1, podem ser explicadas por alguns fatores, dentre os principais, estão a interferência da profundidade óptica das nuvens e das plumas, à falta de dados pelos sensores no momento de ocorrência de uma queimada e à resolução espacial incompatível, já que a maioria das queimadas que ocorrem na América do Sul são menores do que a resolução espacial de 500 metros do sensor (Roy et al., 2006; Roy et al., 2008). Dessa maneira, a maior parte das áreas queimadas que ocorrem no Brasil não são detectadas pelo produto MCD45A1 do sensor MODIS.

## 5. Conclusões

O avanço das técnicas de sensoriamento remoto, combinado com o surgimento de novos satélites e produtos operacionais, permite a identificação e quantificação de áreas queimadas em grandes áreas da superfície terrestre. Porém, a baixa resolução espacial de alguns produtos, como o do MCD45A1 do sensor MODIS, torna incompatível a detecção e mapeamento em locais onde as queimadas possuem uma área de atuação menor, como é o caso da América do Sul.

O produto MCD45A1 de área queimada do sensor MODIS não se mostrou eficiente para a detecção de queimadas na área de estudo, cometendo erros de 2,31% de inclusão, porém, os erros de omissão foram extremamente mais relevantes, não detectando 96,36% das áreas queimadas. Alguns autores atribuem tais omissões à interferência da profundidade óptica das nuvens e das plumas, à falta de dados e principalmente à resolução espacial incompatível entre o produto e a área queimada.

Uma das sugestões propostas por Roy (2002) que poderiam auxiliar na melhoria da capacidade de detectar áreas queimadas seria a combinação dos dados do sensor MODIS com dados de outros sensores semelhantes, ressaltando que torna-se extremamente necessário georreferenciamentos precisos e a combinação de informações provenientes de diferentes bandas.

## Referências

- Batista, I. X. **Desenvolvimento em Rondônia: Políticas Públicas, Desmatamento e evolução Socioeconômica.** (Dissertação de Mestrado). Rio Claro: UNESP, 2001.
- Carriello, F., Rodriguez, D. A. Desmatamento em Rondônia: estudo de índices de paisagem e dados de agropecuária e PIB. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, p. 5679 - 5686, 2009.
- Crutzen, P. J.; Andreae, M. O. Biomass burning in the tropics: impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. **Science**, 250, 1669 - 1678, 1990.
- Eva, H., Lambin, E. F. Remote sensing of biomass burning in tropical regions: sampling issues and multi sensor approach. **Remote Sensing of Environment**, 64, p. 292 - 315, 1998.
- Fearnside, P. M.; Righi, C. A.; Graça, P. M. L. A.; Keizer, E. W. H.; Cerri, C. C.; Nogueira, E. M.; Barbosa, R. I. Biomass and greenhouse gas emissions from land-use change in Brazil's Amazonian "arc of deforestation": The states of Mato Grosso and Rondônia. **Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 1968 - 1978, 2009.
- Justice, C. O., Giglio, L., Korontzi, S., Owens, J., Alleaume, S., Morisette, J. T., Roy, D. P., Petitecolin, F., Descloitres, J., Kaufman, Y. Global fire products from MODIS. (Special Issue), **Remote Sensing of Environment**, 83, p. 245 - 263, 2002.
- Lima, A., Shimabukuro, Y. E., Adami, M., Freitas, R. M., Aragão, L. E., Formaggio, A. R., Lombardi, R. Mapeamento de cicatrizes de queimadas na Amazônia brasileira a partir da aplicação do modelo linear de mistura espectral em imagens do sensor MODIS. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, p. 5925 - 5932, 2009.
- Pereira, J. M. C., Chuvieco, E., Beaudoin, A., Desbois, N. Remote sensing of burned areas: a review. A review of remote sensing methods for the study of large wild land fires. **In** E. Chuvieco (Ed.). Report of the Mega fires Project ENV-CT 96-0256, p. 127 -183, Alcalade Henares, Spain: Universidad de Alcalá, 1997.
- Silva, J. M., Linhares, D. P., Nunes, D. D., Assunção, A. G., Lima, T. R., Furlan, D. N., Carvalho, A. C., Souza, R. C. Evolution of Deforestation and Natural Resources Degradation in Rondônia. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, Special Issue, p. 502 - 511, 2005.

Roy, D. P., Lewis, P., Justice, C. Burned area mapping using multi-temporal moderate spatial resolution data – a bi-directional reflectance model-based expectation approach. **Remote Sensing of Environment**, 83, p. 263 – 286, 2002.

Roy, D. P., Lewis, P., Schaaf, C., Devadiga, S., Boschetti, L. The global impact of cloud on the production of MODIS bi-directional reflectance model based composites for terrestrial monitoring. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, 3, p. 452 - 456, 2006.

Roy, D. P., Boschetti, L., Justice, C. O., Ju, J. The collection 5 MODIS burned area product - Global evaluation by comparison with the MODIS active fire product. **Remote Sensing of Environment**, 112, p. 3690 - 3707, 2008.

Sellers, P. J., Dickinson, R. E., Randall, D. A., Betts, A. K., Hall, F. G., Berry, J. A., Collatz, G. J., Denning, A. S., Mooney, H. A., Nobre, C. A., Sato, N., Field, C. B., Henderson-Sellers, A. Modeling the Exchanges of Energy, Water, and Carbon Between Continents and the Atmosphere. **Science**, 275, 5299, p. 502 – 509, 1995.

Schroeder, W., Csizsar, I., Morisette, J. Quantifying the impact of cloud obscuration on remote sensing of active fires in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, 112, p. 456 – 470, 2008.

Zhan, X., Sohlberg, R. A., Townshend, J. R. G., DiMiceli, C., Carroll, M. L., Eastman, J. C., Hansen, M. C., DeFries, R. S. Detection of land cover changes using MODIS 250 m data. **Remote Sensing of Environment**, 83, p. 336 – 350, 2002.

Werf, G. R.; Randerson, J. T.; Giglio, L.; Collatz, G. J.; Kasibhatla, P. S.; Arellano Jr., A. F. Interannual variability in global biomass burning emissions from 1997 to 2004. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 6, p. 3423–3441, 2006.