

Detecção de alterações recentes na cobertura vegetal natural da Amazônia Legal por meio de imagens Landsat-8: proposta metodológica

George Porto Ferreira¹, Alana Carla Toniol², Pedro Ferraz Cruz¹, Edson Eyji Sano¹, Daniel Moraes Freitas¹, Marcelo Cabral Aguiar¹, Camila Aparecida Lima Lopes², Lidiane de Fátima Vilela², Marcelo Soares Souza²

¹Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA
SCEN Trecho 2 - Ed. Sede - Cx. Postal nº 09566 - CEP 70818-900 - Brasília-DF
{george.ferreira, edson.sano, pedro-ferraz.cruz, marcelo.aguiar, daniel.freitas}@ibama.gov.br

²Hex Informática Ltda - HEXGIS
SCN Quadra 1 Bl F Sala 1406 Ed. América Office Tower - CEP 70.711-905 - Brasília - DF
{alana.toniol, camila.lima, lidiane.vilela, marcelo.souza}@hexgis.com

Abstract. INPE has monitored deforestation in the Brazilian Amazon in near real-time using the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data, which has 1-2 repeat pass and 250-m spatial resolution. As farmers started to clear-cut forests in small patches more intensively, the use of MODIS sensor is becoming limited. In order to complement the information provided by the INPE's system, we propose a methodological approach to detect alterations in forestlands from the Legal Amazonia based on two subsequent Landsat-8 overpasses in time. The study area was a set of 85 Landsat-8 scenes located mostly in the states of Rondônia, Mato Grosso and Pará where ongoing deforestation is significant. The approach is based on the difference between these two images, which is entirely processed using the color rendering function available in the public domain Quantum GIS Desktop 2.4.0. Pixels presenting spectral changes are highlighted in bright tones and may be related to clear-cutting or to forest degradation processes. Visual interpretation of RGB color composites are then conducted only on such highlighted portions of images, making the whole process of image analysis much faster. In the time period of August 1 – October 3, 2014, we identified a total of 924,49 km² of alterations in the study area. The municipality of Altamira, Para State, presented the highest area of alteration (90,3 km²). Results showed that the approach developed in this study is suitable to detect small-size alterations in the Brazilian Amazon (~ > 6 ha) within the Landsat patch frame (185 km) in near real-time.

Palavras-chave: remote sensing, change detection, sensoriamento remoto, Amazônia, desmatamento.

1. Introdução

A Amazônia Legal ocupa nove estados brasileiros e cobre uma superfície de 5.217.423 km², cerca de 61% do território nacional (IPEA, 2008). Os diferentes processos de uso e ocupação do solo nessa região têm contribuído para a remoção de 402.615 km² da cobertura florestal original (1988-2013), segundo dados do PRODES (Projeto de Monitoramento do Desmatamento da Amazônia Legal) (INPE, 2014a). Dentre as causas dessa remoção, destacam-se a expansão da agropecuária, da ocupação humana (notadamente assentamentos rurais), além da extração de produtos madeireiros (corte seletivo) (Geist e Lambin, 2002; Raviero et al., 2009).

Os infratores que praticam desmatamentos ilegais (não autorizados), na tentativa de não serem descobertos pelos atuais sistemas de alerta, têm mudado a dinâmica de destruição da floresta. Mais especificamente, eles estão abandonando o método de derrubada de grandes extensões de florestas para adotar a de talhões entre 6 a 50 hectares (Rosa et al., 2012). Ainda segundo estes autores, as derrubadas em pequenas clareiras representaram 30% do total desmatado na Amazônia no ano de 2002 e 73% em 2009, enquanto o percentual de grandes desmatamentos decresceu de 13% para 3% no período de 2002 e 2009. Outro estudo conduzido por Diniz et al. (2013) mostrou que, em 2002, os polígonos inferiores a 25 ha

representavam menos de 30% do total dos polígonos do PRODES; em 2010, eles passaram a representar aproximadamente 60% do total.

Por causa dessa alteração na dinâmica de desmatamento no campo, a eficácia do DETER (Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) tem diminuído. O DETER consiste em um sistema de alerta diário sobre possíveis degradações e desmatamentos por corte raso na Amazônia Legal e é baseado na análise de imagens do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), cuja resolução temporal e espacial é de 1-2 dias e 250 metros, respectivamente (Justice et al., 2002). A grande vantagem do DETER é a sua capacidade de recobrir grandes áreas em tempo relativamente curto, porém, apresenta limitações para detecção de indicativos de desmatamentos inferiores a 100 ha (Escada et al., 2011). Uma alternativa que pode complementar os indicativos gerados pelo DETER é o uso de duas cenas do Landsat-8, consecutivas no tempo. A resolução espacial de 30 metros do Landsat-8 permite identificar desmatamentos > 2 hectares, embora com tempo de revisita menor em relação ao DETER, que é de 16 dias no caso do Landsat-8. O objetivo desse estudo foi desenvolver um sistema operacional de detecção de alterações recentes superiores a 6,25 ha na cobertura florestal da Amazônia Legal, baseado na análise de imagens Landsat-8 de duas datas consecutivas. A finalidade básica desse estudo de subsidiar atividades de fiscalização de desmatamentos ilegais no campo.

2. Metodologia de Trabalho

Foram analisadas 85 cenas do satélite Landsat-8 (sensor OLI – *Operational Land Imager*) da Amazônia Legal, provenientes de regiões de maior densidade de ocorrência de desmatamentos (Figura 1). Essas regiões foram delimitadas por meio de mapa de concentração de Kernel, obtido com base nos dados de desmatamento do período 2012-2013, disponibilizados pelo PRODES (INPE, 2014a) (Figura 1). O Kernel consiste num método não paramétrico para estimação de curvas de densidade de probabilidade, onde cada observação é ponderada pela distância em relação a um valor central, o núcleo. O satélite Landsat-8 opera com dois instrumentos imageadores, o OLI e o TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). O sensor OLI opera com nove bandas multiespectrais com resolução espacial de 30 metros (1 a 7 e 9), sendo que a banda 8 (pancromática) possui resolução espacial de 15 metros (Roy et al., 2014). Já o sensor TIRS, opera com bandas do infravermelho termal (10 e 11), sendo úteis no fornecimento de temperaturas da superfície terrestre. A resolução radiométrica do sensor OLI é de 12 bits e disponibilizada para usuários em 16 bits e com ortorretificação.

Todas as imagens ortorretificadas (período: julho a setembro de 2014) foram obtidas da página eletrônica do USGS (United States Geological Survey). Para a automatização do processo de aquisição das imagens, foram realçadas as órbitas-pontos imageadas nos três últimos dias da passagem do sensor, de forma que as cenas a serem vetorizadas fossem diferenciadas entre si (Figura 2).

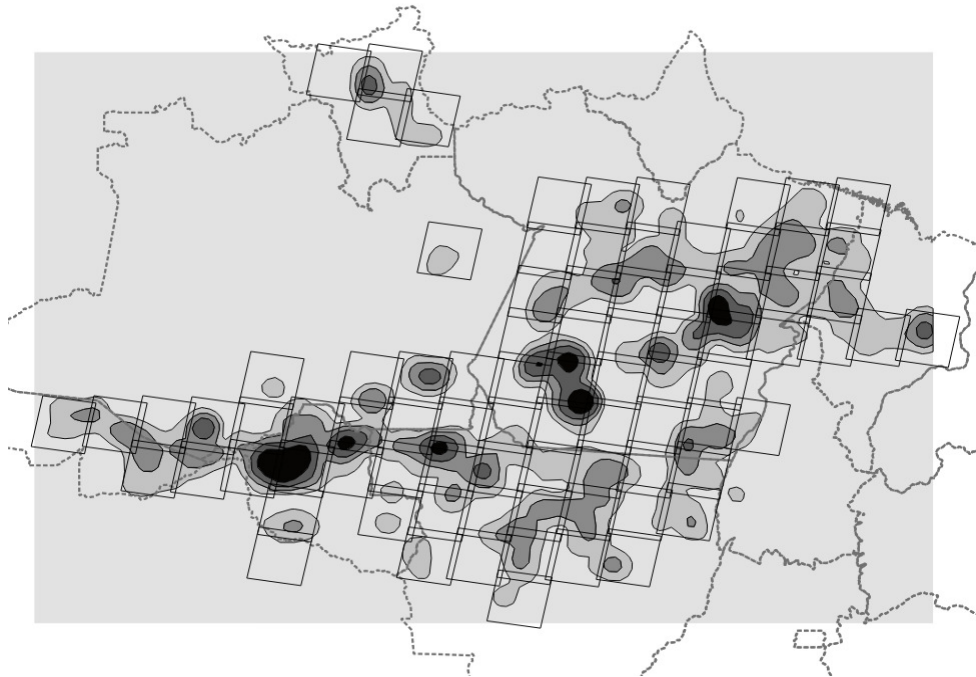


Figura 1. Mapa de concentração de *Kernel* indicando as áreas de maiores densidades de ocorrência de alterações na cobertura florestal natural na Amazônia Legal (círculos mais escuros) e as correspondentes 85 cenas do satélite Landsat-8 analisadas nesse estudo. Órbitas do Landsat-8 que cobrem essa região de concentração de Kernel: 220 – 237; pontos: 58 – 70.

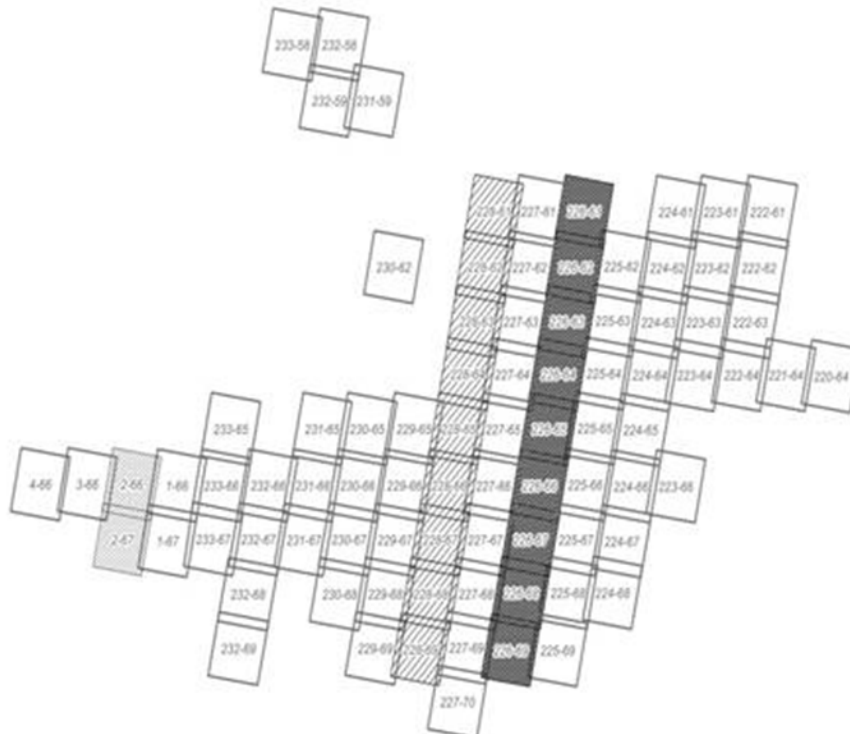


Figura 2. Demonstração do realce para aquisição automatizada das imagens do satélite Landsat-8 OLI. A ordem crescente de prioridade das órbitas/pontos a serem monitoradas está representada pelas faixas hachuradas referentes a dois, três e quatro dias após a data de passagem do Landsat-8.

Após a aquisição das imagens, foi realizada a compactação radiométrica das mesmas de 16 bits para 8 bits e seleção das bandas 4, 5 e 6 para obtenção de composição colorida RGB, visando basicamente a redução no espaço de armazenamento das imagens. A primeira etapa do trabalho consistiu na seleção de duas cenas T0 e T1 para cada órbita/ponto. A cena T1 corresponde àquela imagem em que o analista pretende identificar as alterações de interesse, enquanto a cena T0 corresponde à imagem datada 16 dias antes da data de passagem da cena T1. Sempre que a imagem T0 apresentava problemas de cobertura de nuvens, foram consideradas imagens anteriores ao intervalo de 16 dias.

A vetorização das alterações na cobertura florestal foi feita na tela do computador, utilizando-se da função de delimitação de polígonos disponível no pacote computacional de sistema de informações geográficas Quantum GIS Desktop 2.4.0 (domínio público). A imagem visualizada no monitor foi a imagem-diferença (T1 – T0), obtida por meio da função de renderização de cores (modo de mistura: diferença), disponível no referido *software*. Nessa imagem-diferença, as alterações nos pixels das cenas são realçadas por um brilho intenso. Quanto maior a diferença no padrão espectral da alteração, maior a intensidade do brilho (Figura 3). Nesta figura, a área realçada na imagem-diferença corresponde a uma área com floresta primária no tempo T0 e que foi desmatada pelo processo de corte raso no tempo T1.

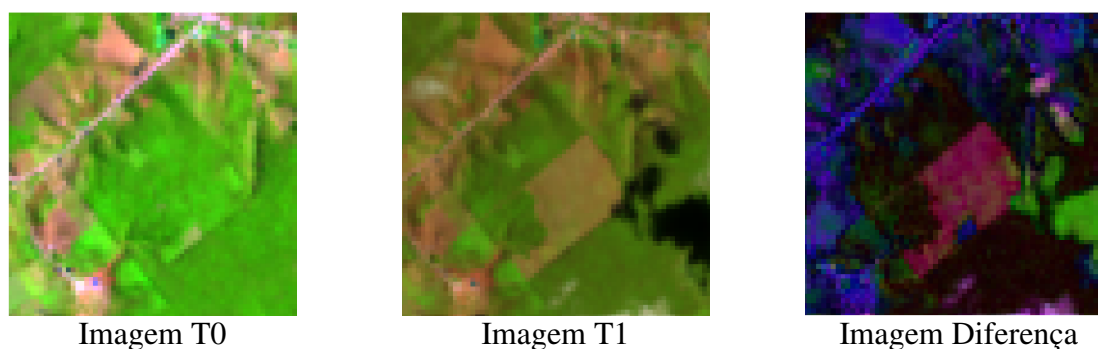


Figura 3. Representação de alteração na cobertura florestal a partir da diferença encontrada entre as Imagens T0 e Imagem T1, conforme função de renderização de cores do *software* Quantum GIS Desktop 2.4.0. Órbita/ponto = 221/64; datas das imagens T0 e T1: 17 de agosto de 2014 e 02 de setembro de 2014, respectivamente. Composição colorida das imagens T0 e T1: RGB/456.

A vantagem da renderização de cores está na possibilidade de diminuir o tempo de análise das cenas, uma vez que o intérprete pode focar a sua análise apenas nas áreas destacadas nas imagens-diferença. No entanto, as duas composições coloridas RGB de três bandas espectrais devem ser analisadas subsequentemente, uma vez que as regiões destacadas nas imagens renderizadas nem sempre correspondem a áreas de desmatamento. Por exemplo, ausência/presença de nuvens em uma das datas de passagem pode causar o mesmo efeito do desmatamento no processo de renderização. Neste estudo, foram analisadas as composições coloridas RGB das bandas 4, 5 e 6.

Alterações anteriores à imagem T0 e detectadas pelo sistema DETER até o dia 31 de julho de 2014 foram colocadas como máscaras e, portanto, desconsideradas na interpretação em curso. Da mesma forma, polígonos mapeados pelo PRODES até 2013 também foram incluídos na máscara, com exceção das áreas regeneradas e mapeadas como “Floresta Secundária” e “Floresta” pelo projeto Terra Class (INPE, 2014b). A escala de visualização na tela de computador foi de 1:80.000, enquanto que a escala de vetorização das alterações foi de 1:20.000.

Alterações visualmente identificadas como corte raso e como degradação foram consideradas separadamente na análise estatística dos resultados. Foi feita ainda um

cruzamento dos polígonos mapeados com os mapas de Unidades de Conservação (UC), Terras Indígenas (TI), Assentamentos, Florestas Públicas e Terras Arrecadadas da União. A defasagem média entre a data de passagem do satélite e a disponibilização dos resultados foi de dois dias. Essa demora é basicamente função do tempo necessário para disponibilização das imagens na página eletrônica da USGS. A confirmação dos dados em campo referente aos polígonos mapeados foi realizada a partir de um conjunto de amostras composto por 214 polígonos provenientes dos estados de Amazonas, Acre, Mato Grosso, Pará e Rondônia. Esse procedimento teve como objetivo constatar o percentual de acertos em relação à interpretação visual das alterações na cobertura florestal, bem como verificar se houve erros de comissão durante o mapeamento, isto é, se houve algum polígono mapeado e este não foi identificado como desmatamento em campo. Todas as etapas de processamento de imagens foram desenvolvidas no Centro de Sensoriamento Remoto do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e de Recursos Naturais Renováveis), em Brasília/DF.

3. Resultados e Discussão

No período de 01 de agosto a 03 de outubro de 2014, foram mapeados 3.663 polígonos de alterações, totalizando uma área de 924,49 km². Os percentuais de alteração por corte raso e por degradação foram de 75% (693,33 km²) e 25% (231,16 km²), respectivamente. Constatou-se que 71,7% das áreas alteradas encontravam-se dentro de Terras Arrecadadas Estaduais; 13,7% em Assentamentos Federais; 9,9% em Florestas Públicas; 3,2% da área desmatada encontravam-se dentro de Terras Indígenas; 1,2% inseridos em UC de Uso Sustentável; e 0,3% em UCs de Proteção Integral (Figura 4). O intervalo de classes de área mais representativo quanto ao número de desmatamentos foi entre 6,25 ha e 50 ha, representando 97,1% (Figura 5). Os polígonos com áreas entre 50,1 ha e 100 ha representaram apenas 5,4% do total de alterações mapeadas. Dentre os dez municípios com maior ocorrência de alterações mapeadas (Tabela 1), merece destaque o município de Altamira, o qual apresentou 90,3 km² de área desmatada no período considerado nesse estudo.

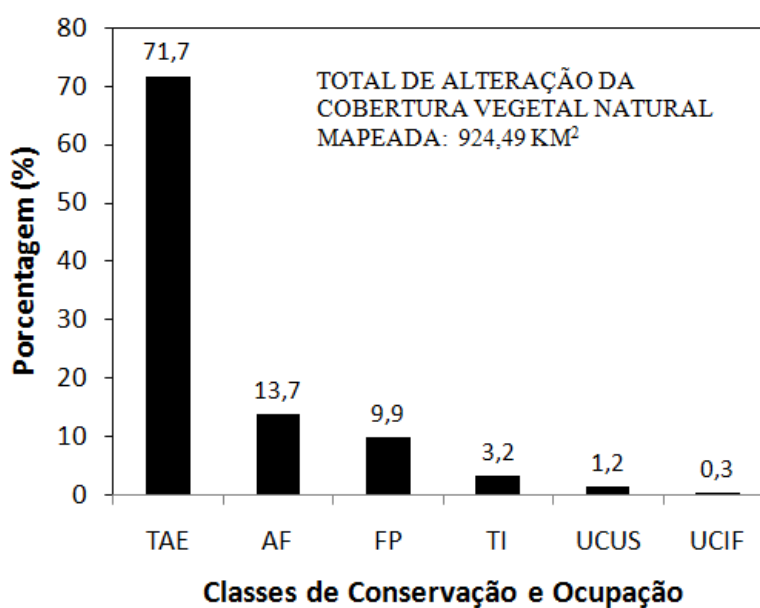


Figura 4. Distribuição das áreas de alteração da cobertura vegetal natural da área de estudo em classes de unidades de conservação e tipo de ocupação. TAE = Terra Arrecadada Estadual; AF = Assentamento Federal; FP = Floresta Pública; TI = Terras Indígenas; UCUS = Unidade de Conservação de Uso Sustentável; e UCIF = Unidade de Conservação Integral Federal.

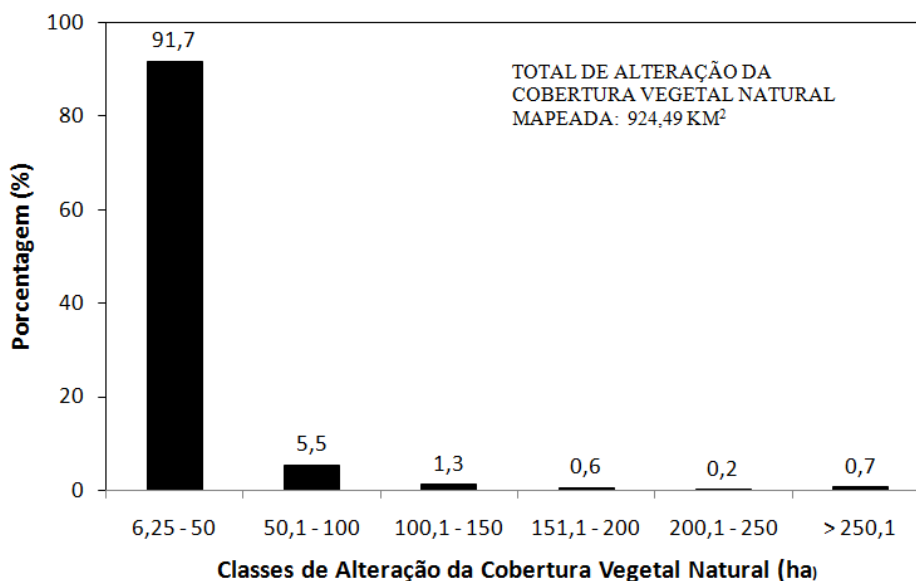


Figura 5. Distribuição das áreas de alteração da cobertura vegetal natural da área de estudo em classes de alteração.

Tabela 1. *Ranking* dos municípios com maior ocorrência de alterações mapeadas entre o período de 01 de agosto a 03 de outubro de 2014.

Município	Área desmatada (km ²)
Altamira (PA)	90,3
Porto Velho (RO)	71,0
Feliz Natal (MT)	46,9
Novo Progresso (PA)	41,4
São Felix do Xingu (PA)	41,0
Colniza (MT)	37,2
Nova Mamoré (RO)	35,4
Lábrea (AM)	28,5
Cláudia (MT)	27,5
Porto dos Gaúchos (MT)	18,4

Dados de operações de fiscalização em campo de 214 polígonos mapeados confirmaram que 94% dos polígonos eram, de fato, alterações relacionadas com corte raso e degradação. Apenas 6% dos polígonos constituíram-se em erros de comissão. Do total dos polígonos vistoriados, 145 (67,7%) foram identificados como corte raso e 56 (26,2%) como degradação florestal. A Figura 6 mostra um exemplo de um polígono mapeado como alteração no município de São Félix do Xingu e confirmado no campo.

4. Conclusão

A abordagem metodológica proposta nesse estudo apresentou resultados satisfatórios quanto ao mapeamento das alterações na cobertura florestal, sendo possível a identificação e diferenciação das classes correspondentes ao corte raso e à degradação. A maioria das alterações esteve relacionada com corte raso. As alterações ficaram concentradas em Terras Arrecadadas Estaduais e no município paraense de Altamira. A maior parte dos polígonos mapeados apresentaram extensões relativamente pequenas (6,25 – 50 ha). Validação de campo dos polígonos identificados confirmou a eficácia dessa abordagem metodológica.



Figura 6. Confirmação em campo de um polígono localizado no município de São Félix do Xingu e mapeado como alteração. Datas de passagem das imagens T0 e T1: 20 de agosto de 2014 e 12 de setembro de 2014, respectivamente.

Agradecimentos

Agradecemos aos analistas do Centro de Sensoriamento Remoto do IBAMA e aos consultores da HexGis pela disponibilização e geração dos dados aqui apresentados.

Referências Bibliográficas

Diniz, C. G.; Gurgel, R. S.; Dias, M. C.; Gomes, A. R.; Almeida, C. A. Sistema DETER-AWIFS; Avaliação do uso de Imagens AWIFS para detecção do desflorestamento em tempo real. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. Foz de Iguaçu, PR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 1244-1249, 2013.

Escada, M. I. S.; Maurano, L. E.; Rennó, C. D.; Amaral, S.; Valeriano, D. M. Avaliação de dados dos Sistemas de Alerta da Amazônia: DETER e SAD. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., Curitiba, PR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 2934-2943, 2011.

Geist, H. J.; Lambin, E. F. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. **BioScience**, v. 52, p. 143-150, 2002.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Projeto PRODES. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>. Acesso em: 30 jul. 2014a.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Dados TerraClass 2010**. Disponível em: <http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2010.php>. Acesso em: 10 set. 2014b.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Amazônia Legal**. Ano 5, ed. 44, 2008. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&id=2154:catid=28&Itemid=23. Acesso em: 10 nov. 2014.

Justice, C. O.; Townshend, J. R. G.; Vermote, E. F.; Masuoka, E.; Wolfe, R. E.; Saleous, N.; Roy, D. P.; Morisette, J. T. An overview of MODIS land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 3-15, 2002.

Rivero, S.; Almeida, O.; Ávila, S.; Oliveira, W. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova Economia**, v.19, n.1, p. 41-66, 2009.

Rosa, I. M. D.; Sousa Jr., C.; Ewers, R. M. Changes in size of deforested patches in the Brazilian Amazon. **Conservation Biology**, v. 26, n. 5, p. 932-937, 2012.

Roy, D. P.; Wulder, M.A.; Loveland, T. R. et al. Landsat-8: science and product vision for terrestrial global change research. **Remote Sensing of Environment**, v. 145, p. 154-172, 2014.