

## Mapeamento e identificação de padrões de alteração na cobertura florestal em imagens do sensor AWiFS-RESOURCESAT-II na Amazônia legal

Jeremias Vitório Pinto Feitosa<sup>1</sup>  
Roberto Wilson Oliveira Dias<sup>2</sup>  
Douglas Rafael Vidal de Moraes<sup>2</sup>  
Nelton Cavalcante da Luz<sup>2</sup>  
Mírian Corrêa Dias<sup>2</sup>  
Arlesson Antônio de Almeida Souza<sup>2</sup>  
Emily Regina Siqueira Dias<sup>1</sup>  
Camila Barata Quadros<sup>1</sup>  
Jefferson de Jesus Souza<sup>2</sup>  
Laís Freitas Moreira dos Santos<sup>2</sup>  
Magda Valéria Corrêa Miranda<sup>2</sup>  
Ronise Rafaelle Mendonça Arraes<sup>2</sup>  
Cesar Guerreiro Diniz<sup>1</sup>  
Igor da Silva Narvaes<sup>1</sup>  
Marcos Adami<sup>1</sup>  
Alessandra Rodrigues Gomes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Centro Regional da Amazônia - CRA - 66077-830 – Belém - Pará -  
Brasil

{jeremias.feitosa, emily.dias, camila.quadros, cesar.diniz, igor.narvaes, marcos.adami,  
alessandra.gomes}@inpe.br

<sup>2</sup>Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais – FUNCATE  
Av. Dr. João Guilhermino, 429 – 12210-131 - Centro - São José dos Campos - SP  
{roberto.dias, douglas.moraes, nelton.luz, mirian.dias, arlesson.souza, jefferson.souza,  
lais.santos, magda.miranda, ronise.arraes, }@funcate.org.br

**ABSTRACT:** The Amazon Near Real-Time Deforestation Detection System (DETER) was developed by the National Institute of Spatial Research (INPE) as an alert system to support the environmental control and enforcement, being part of the Amazon Deforestation's Prevention and Control Plan. This system has been responsible for a rapid and systematic survey in the Brazilian Legal Amazon since May, 2004 using MODIS images. In the last decade, there was a reduction in the size of the deforestation polygons, which represents an obstacle for DETER system, once MODIS' spatial resolution only allows detection of greater areas. Accordingly, this paper aims to map and identify forest cover loss patterns using images of the Advanced Wide Field Sensor (AWiFS), on board of ResourceSat-2 Satellite, for the purpose of monitoring the Amazon Forest in the state of Pará, in September, 2015. Six different patterns of forest cover changes were identified in the study area. The mapped area for each class was: 19.308,02 ha of Clear Cut, 202,09 ha of Clear Cut with vegetation, 55.059,96 ha of degradation, 7.962,57 ha for regular selective logging, 802,77 ha of traditional selective logging and 595,05 ha of mining. Therefore, the highest percentage of mapped area (~ 65%) is associated with Degradation. Thus, in a more detailed analysis, the results allowed to conclude that the AWiFS sensor with moderate spatial resolution of 56 m is a very effective tool in the monitoring and enforcement of forests in near real-time, offering then a great support for conservationist measures of the Amazon biome.

**Palavras-chave:** deforestation, DETER System, monitoring, Forest Degradation, Pará state, desmatamento, sistema DETER, monitoramento, degradação florestal, estado do Pará.

### 1. Introdução

A região amazônica é uma grande área com heterogeneidade biogeográfica ímpar, e sua ocupação humana é observada na paisagem por diversos padrões espaciais que provavelmente estão associados aos diferentes históricos de ocupação, e atores sociais envolvidos (Alves, 2002; Fearnside, 2008). Estima-se que em 1990 as florestas tropicais cobriam entre 11,5 e 12,4 milhões de km<sup>2</sup> em todo mundo (Achard et al., 2002). A Amazônia Legal Brasileira, com aproximadamente 5 milhões de km<sup>2</sup>, representa cerca de 30% da floresta tropical remanescente, sendo a maior floresta tropical contígua do planeta com vasta biodiversidade (Foley et al., 2007) e o seu desmatamento é um dos maiores problemas ambientais mundiais (Fearnside, 2008).

Para melhor entender a natureza dos complexos processos antrópicos ocorridos na Amazônia, bem como identificar e compreender feições de degradação, desmatamento e de uso e cobertura do solo, dados de sensoriamento remoto têm sido utilizados aliado às técnicas de processamento digital de imagem e de geoprocessamento (Santos et al. 2013).

Com o intuito de avaliar o desmatamento na Amazônia, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), desde 1988, tem estimado as taxas anuais de desflorestamento bruto na AML (Câmara et al., 2006), por meio do Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES). Embora o projeto PRODES tenha papel fundamental no monitoramento da floresta e no estabelecimento de políticas públicas, seus dados não podem ser utilizados para o monitoramento, uma vez que não permitem rápida identificação de áreas em estágios de degradação inicial, impossibilitando o estabelecimento de ações preventivas e de fiscalização necessárias para desaceleração ou reversão do processo de desmatamento (DINIZ, 2013; SOUZA, 2015).

Para isso, foi desenvolvido um sistema de alerta para suporte à fiscalização e controle de desmatamento, o Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER), que atualmente integra o Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia (PPCDAM). Este sistema foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e vem sendo responsável por um levantamento rápido e sistemático desde maio de 2004. Este sistema utiliza os dados do sensor MODIS do satélite Terra/Aqua, cuja resolução espacial é 250m (Anderson et al., 2005). O DETER mapeia tanto áreas de corte raso quanto áreas em processo de desmatamento, a degradação florestal (INPE, 2008).

Na última década as séries históricas do PRODES apontam uma redução na área dos polígonos de desmatamento (Rosa et al., 2012), o que prejudica a eficiência de detecção realizada pelo DETER, cuja limitação do mapeamento está relacionada à resolução espacial. Isto ocorre porque a resolução do sensor MODIS não permite a detecção de polígonos menores que 25 ha, apresentando pouca eficácia na identificação de polígonos com áreas variando entre 25 a 100 ha (Escada et al, 2011).

Nesse sentido, em 2015, foi lançado o Projeto DETER - B, o qual se destaca por utilizar imagens do sensor AWiFs, cuja resolução espacial de 56m permite a detecção de polígonos de até 3 ha.

Diante disso, este trabalho tem como objetivo mapear e identificar padrões de alteração na cobertura florestal, utilizando imagens do sensor *Advanced Wide Field Sensor* (AWiFS) do satélite Resourcesat-II para fins de monitoramento do desmatamento da floresta amazônica dentro dos limites do estado do Pará, no mês de setembro de 2015.

## 2. Materiais e métodos

O programa indiano de Satélites de Observação da Terra (IRS) capta e disponibiliza imagens em diversas resoluções (temporal, espacial, espectral e radiométrica), que permitem sua utilização em diversas aplicações, em especial para estudos ambientais. As imagens do sensor AWiFS a bordo do satélite RESOURCESAT-II, pelas características que possui são promissoras para o aprimoramento das técnicas e dos sistemas de monitoramento florestal existente, especialmente para o mapeamento de áreas menores do que 25 ha (Diniz et al., 2013). Estas características são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1: Características das imagens obtidas pelo sensor AWiFS.

Bandas	Resolução				Faixa
	Esppectral (mm)	Espacial (m)	Temporal	Radiométrica	
Verde	0,52-0,59	56	5 dias	10 bits	740 km
Vermelho	0,62-0,68				
NIR	0,77-0,86				
SWIR	1,55-1,70				

Neste estudo, foi utilizada imagens AWiFS, do mês de setembro de 2015, sendo este período escolhido por estar entre os meses de maiores atividades de detecção de alertas de desmatamento na Amazônia, identificado pelo DETER-B. A área deste trabalho está compreendida dentro dos limites do estado do Pará, que integra a Amazônia Legal Brasileira (Figura 1).

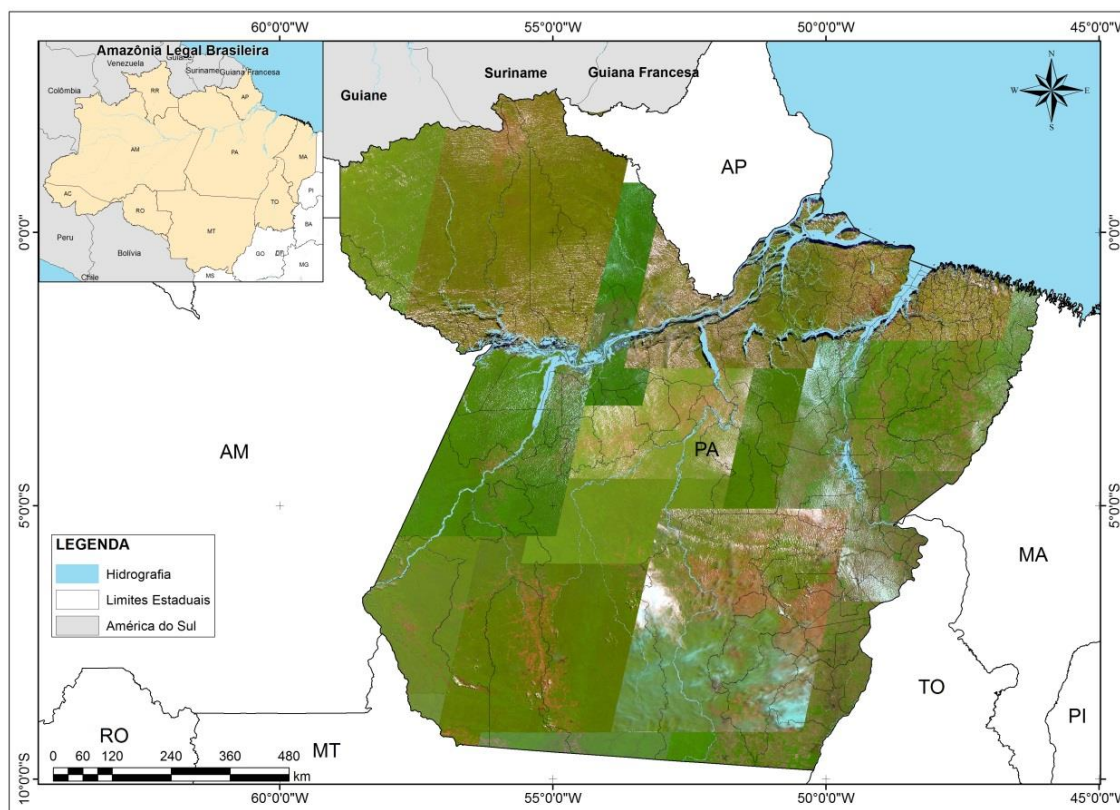
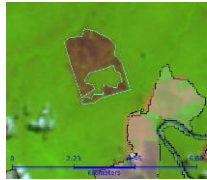
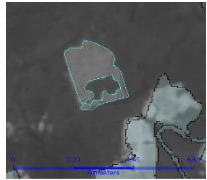



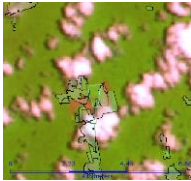
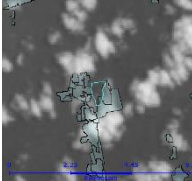

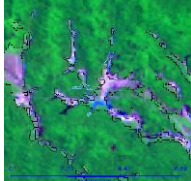
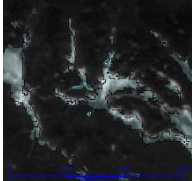

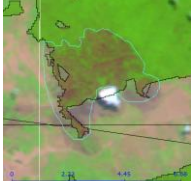
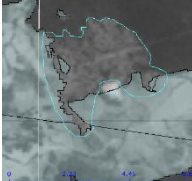


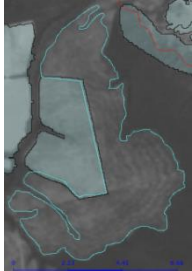


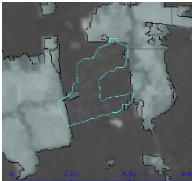

Figura 1. Localização da área de estudo (estado do Pará), preenchido por um mosaico de imagens AWiFS.


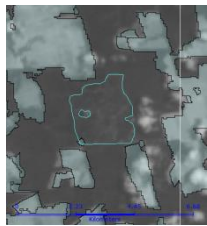

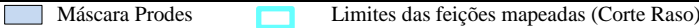
Estas imagens foram incorporadas a um banco de dados PostGreSQL versão 9.4, construído a partir do programa TerraAmazon versão 4.5.0, baseado na tecnologia da Terralib, que foi desenvolvido pelo INPE para sistematizar a base de dados resultante do monitoramento por satélites do desmatamento na Amazônia. Foram utilizadas 32 imagens no total, do mês de setembro. A partir do processamento digital foram extraídas as imagens-fração (vegetação, solo e sombra), realizado para realçar as feições a serem observadas. Também foram excluídos polígonos com áreas inferiores a 3 ha, que é compatível com a resolução espacial dos sensores utilizados (Valeriano et al. 2016). A máscara do PRODES, contendo as classes de hidrografia, não floresta e desmatamento, foi utilizada para evitar que desmatamentos anteriores fossem novamente detectados. Desta maneira o presente trabalho mapeou os desflorestamentos recentes que estavam fora da máscara PRODES.

Seguindo as classes definidas por Diniz et al (2015), para o projeto DETER-B, foram identificados seis padrões de alteração na cobertura florestal: (1) desmatamento tipo corte raso (CR), que consiste em áreas com predomínio de solo exposto sem cobertura florestal e com formas poligonais retas; (2) desmatamento tipo corte raso com vegetação (VEG), que são caracterizados como áreas delimitadas sem cobertura florestal, mas com vegetação de pequeno porte; (3) Mineração (MIN), degradação relacionada à atividade de extração mineral, geralmente localizada nas margens de rios com exposição de solo e com pequenos lagos artificiais no entorno; (4) Degradação (DEG), nesta classe, por questões metodológicas do projeto no período do estudo, estão agrupadas as áreas identificadas como exposição de solo com formas irregulares, bem como as cicatrizes de áreas de florestas queimadas (cicatriz de incêndio florestal); (5) corte seletivo regular (CST1), que segue os padrões embasados no plano de manejo, com estradas principais evidentes na floresta, estradas secundárias paralelas ao longo das quais se encontram distribuídas as esplanadas para armazenar e escoar a madeira; (6) corte seletivo convencional (CST2), cujas áreas das esplanadas são maiores do que no padrão regular conectado as estradas e sem um padrão geométrico definido. Na tabela 2 pode ser observada a chave de interpretação para cada uma dessas classes, bem como suas características quando observadas sobre as imagens em composição colorida na composição 5(R), 4(G) e 3(B) e na fração solo.

Tabela 2. Chave de interpretação das classes mapeadas.

CLASSES	COMPOSIÇÃO COLORIDA	IMAGEM FRAÇÃO SOLO	IMAGEM DE CAMPO	CHAVE DE INTERPRETAÇÃO NA COMPOSIÇÃO COLORIDA 5(R), 4(G) e 3(B)	CHAVE DE INTERPRETAÇÃO NA FRAÇÃO SOLO
Desmatamento tipo Corte Raso (CR)				Cor: Magenta a marron Tonalidade: Claro Textura: Lisa Forma: Regular Contexto: Limites bem definidos entre o polígono (solo exposto) e a matriz florestal.	Cor: Cinza Tonalidade: Claro Textura: Lisa Forma: Regular Contexto: Limites bem definidos entre o polígono (solo exposto) e a matriz florestal.

Desmatamento com vegetação (VEG)				Cor: Verde Tonalidade: Claro Textura: Lisa Forma: Regular Contexto: Áreas de vegetação rasteira em formação.	Cor: Cinza Tonalidade: Escuro Textura: Lisa Forma: Regular Contexto: Áreas de vegetação rasteira em formação. Essas feições são mais evidente nas imagens composição colorida e fração vegetação.
Mineração (MIN)				Cor: Magenta ou Azul Tonalidade: Claro Textura: Rugosa Forma: Irregular Contexto: Seus limites são associados a rios e canais de drenagem.	Cor: Cinza Tonalidade: Claro Textura: Rugosa Forma: Irregular Contexto: Seus limites são normalmente associados a canais de drenagem.
Degradação (DEG)				Cor: Verde e Magenta Tonalidade: Média Textura: Rugosa Forma: Irregular Contexto: Tonalidades de verde e magenta misturados, relacionados à presença de clareiras, solo exposto e vegetação secundária.	Cor: Cinza Tonalidade: Claro Textura: Rugosa Forma: Irregular Contexto: Predomínio de tons cinza-claro, associados à presença de clareiras, solo exposto e vegetação secundária.
				Cor: Verde e Magenta Tonalidade: Média Textura: Rugosa Forma: Irregular Contexto: Tonalidade verde claro em associação com manchas que apresentam padrão de floresta e/ou solo exposto. Pode ou não apresentar círculos concêntricos	Cor: Cinza Tonalidade: Média/Claro Textura: Rugosa Forma: Irregular Contexto: Predomínio de tonalidade cinza médio ou claro que a matriz de floresta. Pode ou não apresentar círculos concêntricos
Corte Seletivo Regular (CST1)				Cor: Verde Tonalidade: Escuro Textura: Rugosa Forma: Regular Contexto: Predomínio da cor verde, com presença de feições circulares (pontos) de cor magenta de tamanho pequeno, com padrão geométrico definido.	Cor: Cinza/Branco Tonalidade: Claro Textura: Rugosa Forma: Regular Contexto: Predomínio de tonalidade cinza escuro com presença de pontos de tons mais claros equidistantes, em geral tem geometria bem definida. Essas feições são mais evidentes na componente fração solo.

Corte Seletivo Convencional (CST2)				Cor: Verde Tonalidade: Escuro Textura: Rugosa Forma: Irregular Contexto: Predomínio de tonalidade verde com tons verde claro e/ou magenta aleatórios.	Cor: Cinza/Branco Tonalidade: Claro Textura: Rugosa Forma: Irregular Contexto: Predomínio de tonalidade cinza escuro com presença de pontos cinza claro, distribuídos de forma irregular. Essas feições são mais evidentes na componente fração solo.
					

### 3. RESULTADO E DISCUSSÕES

Na Tabela 3 são apresentados os resultados de área mapeada, bem como a representatividade de cada uma das classes. Para o mês de referência foi mapeado um total 83.929,61 ha, e a classe Corte Raso compreendeu 19.308,02 ha, o que equivale a 23,01% de área para esse período. Para a classe desmatamento com vegetação, foram mapeados 202,09 ha equivalente a 0,24%, enquanto que para a classe Mineração a área mapeada foi de 595,05 ha que corresponde a 0,71%, as quais corresponderam a aproximadamente 1% do total da área mapeada. Já para a classe Degradação foi mapeada uma área correspondente a 55.059,96 ha que representa 65,59% de área. Por sua vez para as classes Corte Seletivo Regular e Convencional foram mapeados 7.962,57 ha e 802,77 ha que compreende 9,49% e 0,96% respectivamente.

Tabela 3. Total de área mapeada por classe nas imagens AWiFS, no estado do Pará.

Classe	Área (ha)	Área (%)
Desmatamento Corte Raso (CR)	19.308,02	23,01
Desmatamento com vegetação (VEG)	202,09	0,24
Mineração (MIN)	594,05	0,71
Degradação (DEG)	55.059,96	65,59
Corte Seletivo Regular (CST1)	7.962,57	9,49
Corte Seletivo Convencional (CST2)	802,92	0,96
Total	83.929,61	100

Os dados aqui apresentados são indicativos de que a derrubada indiscriminada de parte da floresta, bem como a ocorrência de focos de incêndio, que fazem parte da classe Degradação mapeada, são os maiores agentes causadores de degradação florestal no estado do Pará, uma vez que essa classe representou para esse período, mais da metade dos alertas (~65%). Para Santos et al (2013) a classe degradação também corresponde a maior área mapeada na porção norte do Mato Grosso referindo-se ao fato dessa região ser assolada principalmente por queimadas de grande proporção em áreas indígenas. Na Amazônia Legal o Deter-B constatou que a classe degradação representou a classe mais representativa para o mês de setembro de 2014 (Diniz et al, 2015). Aliado a intensa atividade de degradação, a classe Corte Raso representa o segundo maior percentual do total da área degradada (~23%) no Pará. Para Souza et al (2015), esse tipo de retirada da cobertura florestal é muito comum na Amazônia e em

alguns estados chega a representar a principal atividade de degradação florestal como é o caso do estado do Acre, onde a agricultura de subsistência é bem significativa, o que ratifica o fato de que o tamanho dos polígonos de desmatamento corte raso neste estado são, em sua maioria inferiores a 25 ha.

#### 4. Conclusões

Uma vez que o mês de setembro é um dos meses onde é possível identificar com maior facilidade os padrões de degradação e alteração da cobertura florestal estabelecidos pelo projeto DETER-B, em virtude da dissipação de nuvens e também por estar entre os períodos mais secos do ano na região. Os dados aqui apresentados indicam uma perda significativa de floresta primária no estado do Pará, sobretudo pelos valores elevados de desmatamento por corte raso e de degradação florestal neste período. Desta maneira, conclui-se que o maior percentual de área mapeado, 65,59% está associado à classe degradação, onde se inclui as áreas com retiradas irregulares de parte da cobertura florestal e áreas com focos de incêndio florestal. Desse modo, o sensor AWiFS com resolução espacial melhorada em relação ao Deter-A é atualmente uma das ferramentas mais eficazes na utilização para fins de monitoramento e fiscalização de florestas em tempo quase real, oferecendo suporte para medidas de conservação no estado do Pará e na Amazônia como um todo.

#### 5. Referências

- Achard, F.; Eva, H. D.; Stibig, H.-J.; Mayaux, P.; Gallego, J.; Richards, T.; Malingreau, J. P. **Determination of Deforestation Rates of the World's Humid Tropical Forests**. Science v. 297, n. 5583, p. 999 - 1002, 2002. Disponível em: <http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/297/5583/999>. Acesso em: 06 jul. 2013.
- Alves, D. S. **Space-time dynamics of deforestation in Brazilian Amazônia**. International Journal of Remote Sensing 23, 2903-2908, 2002.
- Anderson, L.O., Shimabukuro, Y.E., DeFries, R.S., Morton, D. **Assessment of deforestation in near real time over the Brazilian Amazon using multitemporal fraction images derived from Terra MODIS**. Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE 2, 315-318, 2005.
- Câmara, G.; Valeriano, D. M.; Soares, J. V.; Motta, M. **Metodologia para o cálculo da taxa anual de desmatamento na Amazônia Legal**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 24 p., 2006.
- 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. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. Anais.
- Diniz, C. G.; Souza, A. A. A.; Santos, D. C.; Dias, M. C.; Luz, N. C.; Moraes, D. R. V.; Maia, J. S.; Gomes, A. R.; Narvaes, I. S.; Valeriano, D. M.; Maurano, L. E.; Adami, M. **"Deter-B: The new Amazon Near Real-Time Deforestation Detection System"**. Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, vol. 8, no. 7, pp. 3619-3628, July 2015.

Escada, M. I. S.; Maurano, L. E; Rennó, C. Dom; Amaral, S.; Valeriano, D. M **Avaliação de dados dos Sistemas de Alerta da Amazônia: DETER e SAD**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), Curitiba, 2011. Anais.

Fearnside, P. M. **The roles and movements of actors in the deforestation of Brazilian Amazonia**. Ecology and Society 13(1): 23, 2008.

Foley, J.A.; Asner, G.P.; Costa, M.H.; Coe, M.T.; DeFries, R.; Gibbs, H.K.; Howard, E.A.; Olson, S.; Patz, J.; Ramankutty, N.; et al. **Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin**. Frontiers in Ecology and the Environment, 5, 25-32, 2007.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites. Sistemas PRODES, DETER, DEGRAD e QUEIMADAS**, 2008. Disponível em: [http://www.obt.inpe.br/prodes/Relatorio\\_Prodes2008.pdf](http://www.obt.inpe.br/prodes/Relatorio_Prodes2008.pdf)> Acesso em: 04. Jul. 2013.

Rosa, I.M.D., Souza, C., Ewers, R.M. **Changes in Size of Deforested Patches in the Brazilian Amazon**. Conservation Biology 26, 932-937, 2012.

Santos, D. C., Dias, M. C., Souza, A. A. A., Diniz, C. G., Adami, M., Maia, J. S., Gomes, A. R. et al. **Identificacion and mapping of forest degradacion patterns on the Brazilian Amazon based on AWiFS**. In Latin American Remote Sensing Week, Santiago-Chile, 2013.

Souza, A. A. et al. **Mapeamento de padrões de mudanças na cobertura florestal em imagens RESOURCESAT-I sensor AWiFS no estado do Acre**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XVII, João Pessoa. Anais... João Pessoa: INPE, 2015, p. 3820-3827.

Valeriano, D. M., Narvaes, I. S., Maia, J. S., Gomes, A. R., Diniz, C. G., Souza, A. A. A. **Metodologia do sistema DETER – B (Sistema de Detecção do Desmatamento e Alterações na Cobertura Florestal em Tempo Quase Real), Mapeamento de alertas com imagens dos Sensores AWiFS-RESOURCESAT-2 e WFI-CBERS-4**. 16 p., 2016. Disponível em:<<http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/06.03.17.54/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2016.