

## Resultados preliminares de mapeamento de desflorestamento em uma região da Amazônia brasileira utilizando dados de radares de abertura sintéticas e óticos

Sidnei João Siqueira Sant'Anna  
Mariane Souza Reis

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{sidnei, reis}@dpi.inpe.br

**Abstract.** The Brazilian Amazon is one of the biggest and most important biomes of the world. This biome, be it because of natural causes or human action, has undergone alterations that can lead to socioeconomic and political problems for the Brazilian nation. Some of these changes, such as deforestation, are detectable through information extracted from remote sensing data. The monitoring of deforestation has been carried out, mainly by INPE, over the years using optical data. The information contained in this type of data is strongly compromised if the imaged region has intense cloud coverage, as is the case of some areas in the Brazilian Amazon. Thus, the use of microwave data is a feasible solution for the monitoring of regions with cloud coverage. This study is based on this context, by an attempt to evidence the use of SAR data for the mapping of deforested areas between the years 2008 and 2010 in the region around the Tapajós National Forest.

**Palavras-chave:** remote sensing, deforestation detection, change detection, classification, sensoriamento remoto, detecção de mudanças, detecção de desflorestamento, classificação.

### 1. Introdução

O desmatamento da Amazônia possui impactos que variam da emissão de gases do efeito estufa à ruptura do ciclo regional de água e perda da biodiversidade (FEARNSIDE, 2008). Para atender à necessidade de monitorar o desmatamento na Amazônia, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desenvolveu sistemas operacionais para o monitoramento da região. São eles: o Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (PRODES), Detecção de Desmatamentos em Tempo Real (DETER) e DETER-B e Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira (DEGRAD). Esses programas são baseados em dados óticos, que sofrem restrições no que se refere a condições climáticas, como presença de nuvens e material particulado, o que pode ser um problema constante em algumas regiões da Amazônia em certos períodos do ano. Nesse sentido, tem-se que o DETER-B apresenta dados úteis apenas de Março a Setembro de cada ano (DINIZ et al., 2015) e a existência de áreas não observadas nos mapeamentos PRODES devido à cobertura de nuvens.

Uma alternativa viável é o uso de dados provenientes de Radares de Abertura Sintética (SAR). Esses dados são obtidos de forma quase que independente das condições climáticas e totalmente independente da fonte solar (PARADELLA et al., 2005), podendo ser coletados durante o ano todo mesmo em regiões em que a cobertura de nuvens é frequente. No entanto, esses dados são mais difíceis de interpretar e processar, quando comparados aos dados óticos (BRUZZONE e BOVOLO, 2008). Nesse sentido, ressalta-se que dados SAR tem sido utilizados para trabalhos de mapeamento de uso e cobertura da terra na Amazônia (PEREIRA, 2012; ANJOS et al., 2015; REIS, 2014), em geral, com classificações menos acuradas do que as realizadas com dados óticos. Alguns trabalhos utilizando dados SAR em banda L na Amazônia, especialmente focados na detecção de desmatamento também tem sido realizados, com resultados promissores (GUERRA et al., 2010; ABOUD NETA, et al., 2010). Em ambos os trabalhos, imagens SAR em banda L, após aplicação da máscara do PRODES para desconsiderar áreas previamente desmatadas, foram diretamente classificadas nas classes *Floresta* e *Incremento do Desflorestamento*.

Existem, no entanto, diversas formas de mapear o desflorestamento na Amazônia Brasileira, utilizando conjuntos de dados em abordagens mono e multissensores, inclusive aquelas que tratam de dados óticos e SAR em conjunto. De especial interesse pode ser o uso

de técnicas de detecção de mudanças, como a comparação pós-classificação, em que imagens de datas distintas, classificadas individualmente, são comparadas. Apesar de os resultados da detecção de mudanças serem dependentes da exatidão das classificações individuais (LU et al., 2004), a análise desses resultados pode elucidar importantes questões sobre quais são as principais dificuldades em se detectar o desmatamento com cada tipo de dado e apontar direções de como resolver estes problemas. Dessa forma, este trabalho objetiva avaliar classificações de desmatamento ocorridos em uma região da Amazônia Legal brasileira, utilizando dados SAR e óticos em abordagens mono e multisensores, por meio da detecção de mudanças por comparação pós-classificação.

## 2. Materiais e Métodos

Este trabalho visa detectar o desmatamento ocorrido entre junho de 2008 e junho de 2010, em uma área de aproximadamente 412 km<sup>2</sup> localizada no município de Belterra, no estado do Pará. Esta área é ilustrada na Figura 1, juntamente com alguns limites geográficos. Também nessa figura estão ilustrados os dados do PRODES 2011, para exemplificar a dinâmica de desflorestamento ocorrido na região no período analisado (Figura 1c).

A área de estudo engloba uma parcela da Floresta Nacional (Flona) do Tapajós e é atravessada pela BR-163 (Rodovia Cuiabá-Santarém). Trata-se de uma área relativamente plana que apresenta vegetação do tipo Floresta Ombrófila Densa. No exterior da Flona são encontradas áreas de agricultura mecanizada e de subsistência, áreas de pastagens e de vegetação secundária. Há também relatos de uso de fogo, caça, mineração e coleta seletiva de madeira na região (IBAMA, 2004).

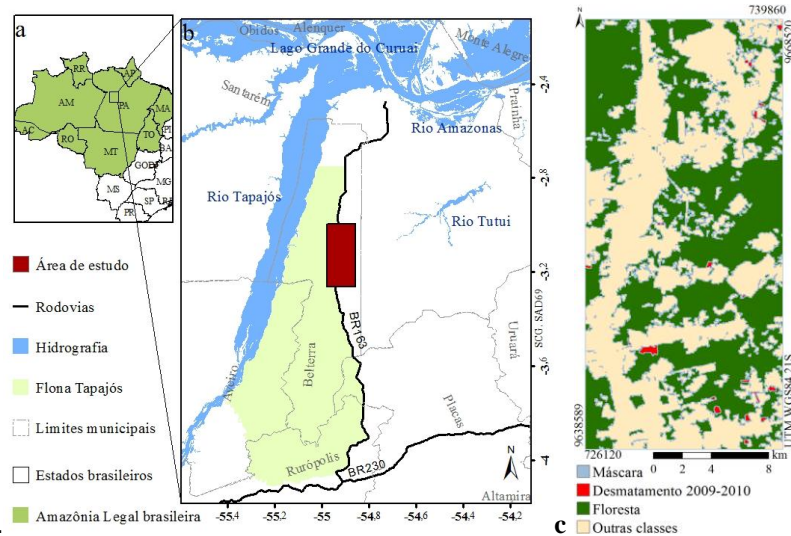


Figura 1 – Área de estudo: a) em relação à Amazônia Legal brasileira; b) em relação à limites naturais e políticos locais; c) Dados PRODES de 2011, utilizados como referência, com máscara sobreposta (para diminuir problemas de ajuste geométrico).

Quatro imagens foram utilizadas neste trabalho: duas imagens do sensor *Phase Array L-Band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR) do satélite *Advanced Land Observing System* (ALOS), em modo *Fine Beam Dual*, nível de processamento 1.1 e duas polarizações, HH e HV, datadas de 15 de junho de 2008 e de 21 de junho de 2010; e duas imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite LANDSAT5, datadas de 23 de junho de 2008 e de 29 de junho de 2010. As quatro imagens foram ortorretificadas no software PCI 13.0, utilizando os dados do *Shuttle Radar Topography Mission* versão 4 (SRTM 4) como Modelo Digital de Elevação o modelo *Rational Function* (RFM). As bandas 2, 4 e 5 dos dados LANDSAT5/TM (selecionados neste trabalho por um processo de seleção de atributos baseado na mínima distância de Jefries-Matusita) foram utilizados na resolução espacial e sistema de projeção e referência originais (30 metros, UTM e

WGS84, respectivamente). Dados ALOS/PALSAR foram reamostrados para pixels quadrados de 15 m e projetados para UTM/WGS84, zona 21S, para permitir comparação. Os dados SAR foram utilizados em amplitude e filtrados através do filtro de *speckle* SDNLM (*Stochastic Distances Nonlocal Means*) desenvolvido por Torres et al. (2014), com tamanho de janela de filtragem de 5x5 pixels, tamanho do *patch* de 3x3 pixels e com nível de confiança dos testes estatísticos de 90% e. Estas imagens estão ilustradas na Figura 2.

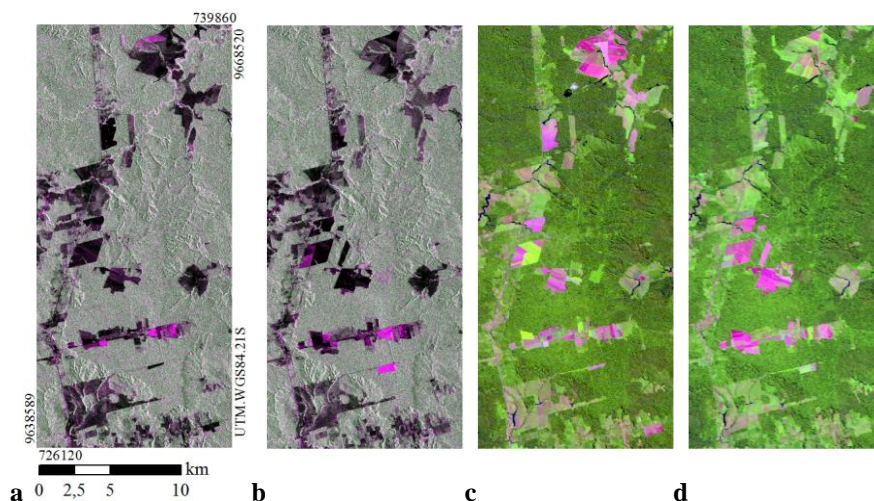


Figura 2 – Imagens: a) ALOS/PALSAR filtrada de 15/06/2008 na composição colorida HH(R) HV(G) HH(B); b) ALOS/PALSAR filtrada de 21/06/2010 na composição colorida HH(R) HV(G) HH(B); c) LANDSAT5/TM de 23/06/2008 na composição colorida 5(R) 4(G) 2(B) e d) LANDSAT5/TM de 29/06/2010 na composição colorida 5(R) 4(G) 2(B).

Essas imagens foram classificadas individualmente. A partir de um sistemas de regras utilizadas para definir classes de transição, proveniente de uma matriz de transição (explicada na sequência), compararam-se duas classificações (uma de cada ano) de forma a gerar as classificações de desmatamento. Esta metodologia está sintetizada na Figura 3 e explicada a seguir.

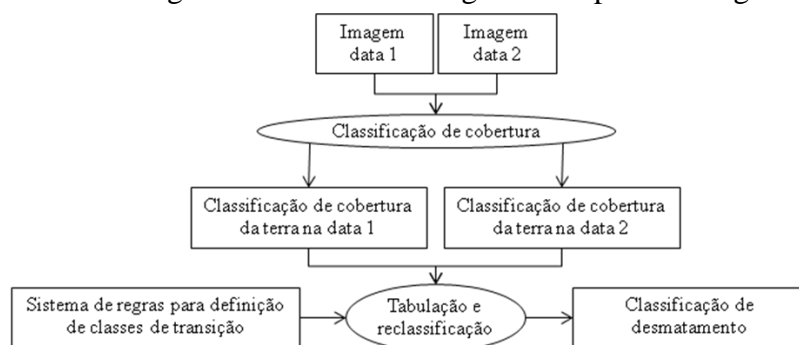


Figura 3 – Fluxograma metodológico.

## 2.1 Classificação de cobertura

As quatro imagens foram classificadas em 10 classes de cobertura, definidas a partir de informações de trabalhos de campo e do Projeto Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra nas Áreas Desflorestadas da Amazônia Legal (TerraClass). São essas classes: Floresta Primária (FP), Floresta Degradada (FD), Vegetação Secundária Avançada (VS3), Vegetação Secundária Intermediária (VS2), Vegetação Secundária Inicial (VS1), Pasto Limpo (PL), Pasto Sujo (PS), Área Cultivada (AC), Área agrícola em Pousio (AP) e Solo Exposto (SE). Foi utilizado um classificador de regiões baseado na mínima distância de Bhattacharyya e a técnica Monte Carlo.

Cada imagem foi segmentada de forma individual. As imagens ALOS/PALSAR foram segmentadas utilizando o algoritmo baseado em bacias do *software IDRISI Selva*, com tolerância de similaridade = 40, tamanho de janela = 3, peso do fator de média = 0,5, peso do fator de

variância = 0,5. Já as imagens LANDSAT5/TM foram segmentadas usando o segmentador *Multiresolution Segmentation* do software eCognition 8.0, com forma e compacidade = 0,3 e parâmetro de escala = 30. Para as 4 segmentações, áreas menores que 100 pixels foram agregadas àquelas com as quais estas compartilhavam a maior fronteira.

Cada imagem foi classificada a partir de sua respectiva imagem segmentada e um conjunto sorteado de amostras de cada classe definida, selecionados a partir de um conjunto de amostras de treinamento. Foram sorteados 1200 e 300 pixels por classe, respectivamente, para as imagens ALOS/PALSAR e LANDSAT5/TM. Cada imagem foi classificada 100 vezes, com variação no sorteio das amostras de treinamento. A classe atribuída a cada região na classificação final da cobertura corresponde à classe mais frequente nas 100 classificações.

Essas classificações finais também foram avaliadas por uma estratégia Monte Carlo, em que são sorteados 100 (classificações LANDSAT5/TM) e 400 (classificações ALOS/PALSAR) pixels por classe de um conjunto de amostras de teste, para calcular uma matriz de confusão, da qual se calculam a Exatidão Global, a Exatidão do Usuário (por classe) e do Produtor (também por classe). Este processo foi repetido 10000 vezes variando-se o sorteio das amostras e o valor médio dos 10000 índices gerados foi utilizado para avaliação.

## 2.2 Sistema de regras para definição de classes de transição

A definição de classes de transição ocorreu pela análise de matrizes de transição, especialmente criadas para a área de estudo e período analisado e considerando o objetivo do trabalho. Tratam-se de matrizes em que se rotula, de acordo com as classes de transição desejadas, a transição de uma determinada classe na classificação de 2008 para um classe identificada em 2010. Duas matrizes foram geradas: uma que considera todas as transições possíveis entre as 10 classes destacadas e uma que considera as transições possíveis entre superclasses de *Floresta (Floresta Primária + Floresta Degradada)* e *Não Floresta* (demais classes). Estas matrizes estão apresentadas, respectivamente, nas Tabelas 1 e 2. A classe Mudanças Impossíveis, nestas tabelas, refere-se à uma transição impossível de acontecer devido ao tempo (por exemplo, uma área em pousio tornar-se uma vegetação secundária avançada em apenas 2 anos) ou a mudança de classe (nenhuma classe pode tornar-se floresta).

Tabela 1. Matriz de transição para 10 classes de cobertura.

		2010									
		AP	AC	FD	FP	PL	PS	SE	VS1	VS2	VS3
2008	Área em Pousio(AP)	NM	OM	MI	MI	OM	OM	OM	OM	MI	MI
	Área Cultivada (AC)	OM	NM	MI	MI	OM	OM	OM	OM	MI	MI
	Floresta Degradada (FD)	DF	DF	PF	PF	DF	DF	DF	DF	MI	MI
	Floresta Primária (FP)	DF	DF	PF	PF	DF	DF	DF	DF	MI	MI
	Pasto Limpo (PL)	OM	OM	MI	MI	NM	OM	OM	OM	MI	MI
	Pasto Sujo (PS)	OM	OM	MI	MI	OM	NM	OM	OM	MI	MI
	Solo Exposto (SE)	OM	OM	MI	MI	OM	OM	NM	OM	MI	MI
	Vegetação secundária Inicial (VS1)	OM	OM	MI	MI	OM	OM	OM	NM	OM	MI
	Vegetação secundária Intermediária (VS2)	OM	OM	MI	MI	OM	OM	OM	OM	NM	OM
	Vegetação secundária Avançada (VS3)	OM	OM	MI	MI	OM	OM	OM	OM	MI	NM

em que PF=Permanência de Floresta; DF=Desflorestamento; NM=Não Mudança; OM=Outras Mudanças e MI=Mudanças Impossíveis.

Tabela 2. Matriz de transição para 2 classes de cobertura.

		2010	
		Floresta	Outras classes
2008	Floresta	PF	DF
	Outras classes	MI	NM

em que PF=Permanência de Floresta; DF=Desflorestamento; NM=Não Mudança e MI=Mudanças Impossíveis.

### 2.3 Classificação de desmatamento e avaliação dos resultados

As classificações de cobertura da terra obtidas para cada data, com 10 ou 2 classes, foram tabuladas e as transições reclassificadas segundo o sistema de regras apresentados na Seção 2.2. As classificações resultantes foram então avaliadas em relação ao desmatamento mapeado pelo PRODES nos anos de 2009 e 2010 (por tabulação e computo dos pixels rotulados como cada classe).

### 3. Resultados e discussões

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados. Os mapas de transição foram discutidos em relação ao desmatamento detectado em 2009 e 2010 pelo PRODES, à exatidão das classificações de cobertura utilizadas para compor os mapas de desmatamento e de forma visual.

#### 3.1 Classificações de desmatamento considerando 10 classes de cobertura iniciais

As classificações de desmatamento obtidas pela tabulação das classificações de cobertura com dez classes estão ilustradas na Figura 4. Nesta figura, as classes de transição *Permanência de Floresta*; *Não Mudança*; *Outras Mudanças* e *Mudanças Impossíveis* estão agrupadas em *Outras classes* para permitir melhor visualização da classe *Desflorestamento*. A nomenclatura usada para designar os mapas de mudanças refere-se ao tipo de imagem classificada em cada ano. Por exemplo, o mapa TM-PALSAR significa que este mapa é o resultado das classificações de cobertura da imagem LANDSAT5/TM para 2008 e ALOS/PALSAR para 2010. Na Tabela 3 está apresentada a tabulação das classificações obtidas e dos dados PRODES, bem como registrada a proporção de cada classe de transição em cada classificação de desmatamento obtida.

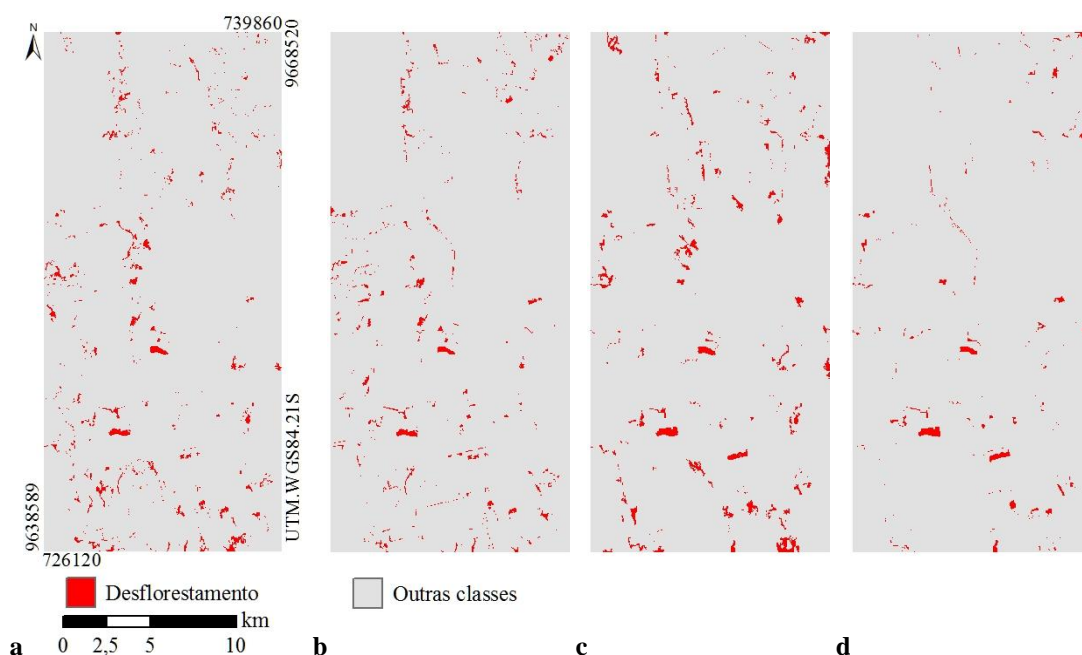


Figura 4 – Mapas de mudança usando classificações de 2008 e 2010, ambas com 10 classes de cobertura: a) PALSAR-PALSAR; b) PALSAR-TM; c) TM-PALSAR; e d) TM-TM.

Tabela 3. Tabulação dos dados PRODES e das classificações de desmatamento obtidas pelas classificações com 10 classes de cobertura e proporção de cada classe de transição nas classificações de desmatamento.

		PRODES				Proporção da classe na classificação de desmatamento
		Máscara	Desflorestamento 2009-2010	Floresta	Outras classes	
PALSAR-PALSAR	Permanência de Floresta	0,12	0,01	0,16	0,06	0,11
	Desflorestamento	0,03	<b>0,33</b>	0,01	0,02	<b>0,02</b>
	Não mudança	0,16	0,16	0,17	0,21	0,19
	Outras Mudanças	0,17	0,26	0,09	0,40	0,24
	Mudanças impossíveis	0,52	0,24	0,57	0,30	0,45
PALSAR-TM	Permanência de Floresta	0,31	0,10	0,43	0,12	0,28
	Desflorestamento	0,03	<b>0,34</b>	0,00	0,02	<b>0,02</b>
	Não mudança	0,07	0,08	0,03	0,16	0,09
	Outras Mudanças	0,13	0,30	0,04	0,40	0,21
	Mudanças impossíveis	0,46	0,18	0,50	0,30	0,40
TM-PALSAR	Permanência de Floresta	0,17	0,03	0,27	0,07	0,17
	Desflorestamento	0,04	<b>0,45</b>	0,02	0,02	<b>0,02</b>
	Não mudança	0,11	0,12	0,04	0,24	0,14
	Outras Mudanças	0,12	0,17	0,01	0,37	0,19
	Mudanças impossíveis	0,55	0,23	0,66	0,29	0,48
TM-TM	Permanência de Floresta	0,50	0,12	0,76	0,20	0,48
	Desflorestamento	0,02	<b>0,47</b>	0,00	0,01	<b>0,01</b>
	Não mudança	0,14	0,10	0,05	0,31	0,18
	Outras Mudanças	0,09	0,20	0,01	0,32	0,16
	Mudanças impossíveis	0,24	0,11	0,18	0,16	0,18

Como é possível observar na Tabela 3, a classificação em que a classe *Desflorestamento* foi melhor classificada é a obtida pela tabulação das duas classificações de cobertura das imagens LANDSAT5/TM (47% das áreas desflorestadas corretamente detectadas). No entanto, a classificação de desflorestamento obtida a partir das classificações de cobertura da imagem LANDSAT5/TM para 2008 e ALOS/PALSAR para 2010 obteve resultados similares (45% das áreas desflorestadas corretamente detectadas). Os piores resultados observados pelas classificações PALSAR-PALSAR e PALSAR-TM provavelmente ocorreram em função da confusão entre as classes *Floresta Primária*, *Floresta Degradada*, *Vegetação Secundária Inicial*, *Vegetação Secundária Intermediária* e *Vegetação Secundária Avançada* nas classificações de cobertura dos dados ALOS/PALSAR, uma vez que se uma área de floresta (FP ou FD) em 2008 seja classificada como vegetação secundária e for desflorestada em 2010, esta não será computada como *Desflorestamento*. A esse respeito, problemas de classificação dentre estas classes também podem ocasionar a classificação errônea em todas as demais classes de transição definidas.

### 3.2 Classificações de desmatamento considerando 2 classes de cobertura iniciais

As classificações de desmatamento obtidas pela tabulação das classificações de cobertura com duas classes estão ilustradas na Figura 5, com as classes de transição *Permanência de Floresta*; *Não Mudança*; *Outras Mudanças* e *Mudanças Impossíveis* agrupadas em *Outras classes* para permitir melhor visualização da classe *Desflorestamento*. A tabulação das classificações obtidas e dos dados PRODES, bem como a proporção de cada classe de transição em cada classificação de desmatamento, está apresentada na Tabela 4.

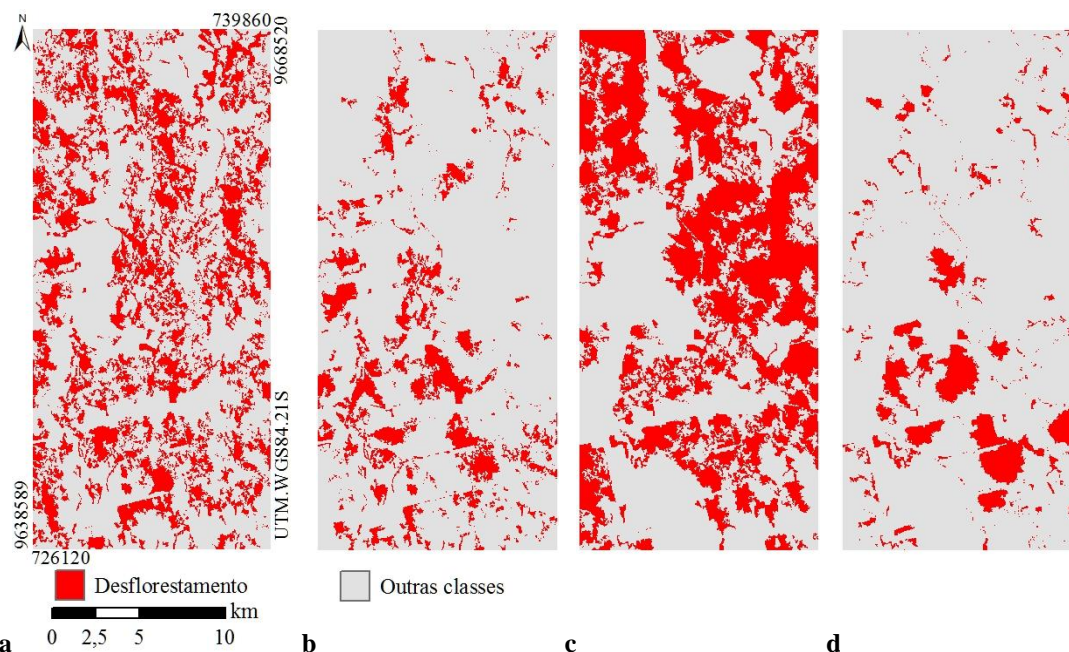


Figura 5 – Mapas de mudança usando classificações de 2008 e 2010, ambas com 2 classes: a) PALSAR-PALSAR; b) PALSAR-TM; c) TM-PALSAR; e d) TM-TM.

Tabela 4 Tabulação dos dados PRODES e das classificações de desmatamento obtidas pelas classificações com 2 classes de cobertura e proporção de cada classe de transição nas classificações de desmatamento.

		PRODES				Proporção da classe na classificação de desmatamento
		Máscara	Desflorestamento 2009-2010	Floresta	Outras classes	
PALSAR-PALSAR	Floresta	0,12	0,01	0,16	0,06	0,11
	Desflorestamento	0,36	<b>0,48</b>	0,38	0,20	<b>0,30</b>
	Não mudança	0,40	0,46	0,31	0,67	0,48
	Mudanças impossíveis	0,12	0,04	0,14	0,07	0,11
PALSAR-TM	Floresta	0,31	0,10	0,43	0,12	0,28
	Desflorestamento	0,16	<b>0,39</b>	0,11	0,13	<b>0,13</b>
	Não mudança	0,25	0,41	0,08	0,63	0,34
	Mudanças impossíveis	0,28	0,10	0,38	0,11	0,25
TM-PALSAR	Floresta	0,17	0,03	0,27	0,07	0,17
	Desflorestamento	0,46	<b>0,58</b>	0,61	0,19	<b>0,41</b>
	Não mudança	0,30	0,37	0,09	0,68	0,38
	Mudanças impossíveis	0,07	0,03	0,03	0,06	0,05
TM-TM	Floresta	0,50	0,12	0,76	0,20	0,48
	Desflorestamento	0,13	<b>0,49</b>	0,12	0,06	<b>0,10</b>
	Não mudança	0,27	0,31	0,07	0,70	0,37
	Mudanças impossíveis	0,09	0,08	0,05	0,04	0,05

Como pode ser observado pela análise da Figura 5 e da Tabela 4, a diminuição do número de classes nas classificações de cobertura, embora tenha, em geral, aumentado a exatidão das classificações (aumento de 75%, 28% e 10% nos valores do índice Kappa para as classificações PALSAR 2008, PALSAR 2010 e TM 2008, respectivamente, e diminuição em 13% no valor do Kappa para TM 2010), aumenta detecção de falsos desflorestamentos, embora tenha melhorado um pouco a detecção de desmatamento reais mapeados pelo PRODES. Isso ocorre porque áreas em que houve erros de classificação entre as classes *Floresta Primária*, *Floresta Degradada*, *Vegetação Secundária Inicial*, *Vegetação*

*Secundária Intermediária e Vegetação Secundária Avançada*, anteriormente classificadas como *Mudanças Impossíveis*, passam a ser classificadas como *Desflorestamento* com a utilização de apenas duas classes de cobertura *Floresta e Não Floresta*.

#### 4. Considerações Finais

É importante manter as transições impossíveis na matriz, pois quando se agrupa em menor número de classes e não se leva em consideração estas transições, há um aumento das regiões de desflorestamento. Nenhum dos conjuntos de dados atingiu uma exatidão considerada aceitável. Talvez classificar as imagens em suas classes *Florestas+Vegetação Secundárias e Agropastoril* (outras) e então aplicar a máscara do PRODES resulte em exatidão mais adequada para a tarefa (similar ao desenvolvido nos trabalhos de GUERRA et al., 2010; ABOUD NETA, et al., 2010).

O mapeamento do PRODES de 2008 foi feito usando uma imagem de 27/09/2008 e o de 2010 uma imagem de 29/06/2010, logo existem áreas corretamente detectadas como desflorestadas neste estudo que não constam como referência no dado PRODES utilizado por terem sido desflorestadas entre a data destas imagens (junho) e o PRODES de 2008 (agosto). Um outro fato importante a ser lembrado é que existe uma certa tendência implícita nas classificações dos dados óticos, pois as amostras de treinamento e teste foram selecionadas baseadas neste tipo de imagem. Mais estudos que englobam esta temática continuam sendo conduzidos.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de número 312753/2015-2.

#### Referências

- ABOUT-NETA, S. R.; FREITAS, C. C.; DUTRA, L. V. Uso de imagens ALOS/Palsar multipolarizadas para detecção de incremento de desflorestamento na Amazônia / Use of Multipolarized ALOS/PALSAR Image for Detection of Increment of Deforestation in the Amazon. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 62, n. 2-esp, p. 417-431, 2010. Disponível em: <[http://www.rbc.ufjf.br/\\_pdf\\_62\\_2010/62\\_ESPECIAL\\_02\\_8.pdf](http://www.rbc.ufjf.br/_pdf_62_2010/62_ESPECIAL_02_8.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2016.
- ANJOS, D.; LU, D.; DUTRA, L.; SANT'ANNA, S. **Change Detection Techniques Using Multisensor Data**. In: THENKABAIL, P.S. (Ed). *Remotely Sensed Data Characterization, Classification, and Accuracies*; CRC press: London, v. 1, 2015. 678 p.
- BRUZZONE, L.; BOVOLO, F. **Unsupervised change detection in multi-temporal SAR images**. In: C.H, C. (Ed.). *Image processing for remote sensing*. Londres: Taylor and Francis, 2008. 380p.
- C. G. DINIZ et al., DETER-B: The New Amazon Near Real-Time Deforestation Detection System, **IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observ.in Remote Ses.**, v. 8, pp. 3619-3628, 2015.
- FEARNSIDE, P. The roles and movements of actors in the deforestation of Brazilian Amazonia. **Ecology and Society**, v. 13, n. 1, 2008.
- GUERRA, J. B.; MURA, J. C.; FREITAS, C. C. Discriminação de incrementos de desflorestamento na Amazônia com dados SAR R99B em banda L / Discriminating deforestation increment areas in the Amazon rainforest with L band SAR R99B data. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 3, p. 557-566, set. 2010. doi: <10.1590/S0044-59672010000300015>.
- IBAMA. **Floresta Nacional do Tapajós plano de manejo: volume I - informações gerais**. Technical report, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Brazil, 2004. 76p.
- LU, D.; MAUSEL, P.; BRONDIZIO, E.; MORAN, E. Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 12, p. 2365-2401, 2004.
- PARADELLA, W., SANTOS, A., VENEZIANI, P., CUNHA, E. Radares imageadores nas geociências. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 1, n. 57, p. 56-62. 2005.
- PEREIRA, L. O. **Avaliação de métodos de integração de imagens ópticas e de radar para a classificação do uso e cobertura da terra na região amazônica**. 242 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012.
- REIS, M. S. **Detecção de mudanças de uso e cobertura da terra utilizando dados óticos e de micro-ondas em uma região da Amazônia brasileira**. 331 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2014.
- TORRES, L., SANT'ANNA, S. J., FREITAS, C. C., FRERY, A. C., 2014. Speckle reduction in polarimetric SAR imagery with stochastic distances and nonlocal means. **Pattern Recognition**, v. 47, n. 1, p. 141-157.