

Processamento de imagem SAR (Banda L) para detecção histórica de áreas florestais degradadas por incêndios recorrentes em Roraima

Haron Abraham Magalhães Xaud¹

João Roberto dos Santos²

Flora Martins³

Maristela Ramalho Xaud¹

¹ Embrapa Roraima

BR 174, km 08, Caixa Postal 133 - 69301-970 – Boa Vista - RR, Brasil
{haron.xaud, maristela.xaud}@embrapa.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
joao.roberto@inpe.br

³ Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB

Av. Olivo Gomes, 100 - 12211-115 - São José dos Campos - SP, Brasil
flora@gmail.com

Abstract. This paper aims to analyse the historical images of ALOS/PALSAR data (L Band) as an alternative to monitoring degradation of tropical forests affected by fires in the Northernmost Amazon Region. The sites of this study are located in the Apiaú Region, State of Roraima, Brazil. The study area was burned irregularly in 1998, 2003 and 2007 fires. The post-fire image (Jan.2008) was obtained in HH polarization. We orthorectified the PALSAR data and generated Amplitude and Intensity images. Additionally it were generated 13 textural data based on occurrence and co-occurrence matrix. Using Object-Based Image Analysis (OBIA) we segmented a 2007 Landsat TM image (as reference) to obtain objects that were described by 15 attributes derived from SAR images plus the standard deviation (SD) of each one, totalizing 30 attributes per object. We selected training and reference samples divided into 5 classes: (FN) unburned forests; (FQ1B) forests affected by 1 fire-low intensity; (FQ1A) forests affected by 1 fire-high intensity; (FQ2) forests affected by 2 fires; (FQ3) forests affected by 3 fires. We optimized the selection of PALSAR attributes to obtain the best separability among classes using a feature space optimization tool in OBIA based on Nearest Neighbor classifier. From the 30 attributes derived from PALSAR image, the results highlighted the best attributes (images) to detect degraded areas by recurrent fires; eight of them obtained from SD of textures and amplitude images.

Palavras-chave: remote sensing, forest fire, OBIA, degraded areas, sensoriamento remoto, incêndios florestais, orientação a objetos, áreas degradadas.

1. Introdução

Dois eventos em especial ficaram mundialmente marcados ao atingirem grandes extensões de florestas tropicais antes tidas como imunes a incêndios: um deles ocorreu na região Leste de Kalimantan, Indonésia, em 1982-1983 e o outro ocorreu no Estado de Roraima, Amazônia Brasileira, em 1997-1998 (MARTINS et al., 2012; XAUD et al., 2013).

Do ponto de vista de mudança de paradigma, o grande incêndio de Roraima foi ainda mais emblemático, por ter ocorrido no bioma Amazônia, reconhecido como a maior reserva de florestas tropicais do planeta. Desde então, ficou comprovado que ao menos parte das áreas de remanescentes florestais da Amazônia pode queimar sob condições extremas de seca prolongada e presença de fontes antrópicas de ignição (COCHRANE, 2000).

Em áreas florestais que são atingidas por incêndios recorrentes, provavelmente existe como consequência uma paisagem muito complexa derivada da interação do fogo com a vegetação original e sua posterior regeneração. Tais situações de degradação florestal complexa ainda têm sido pouco avaliadas quantitativamente devido à grande extensão das

áreas atingidas, à frequência dos eventos, dinâmica de regeneração da vegetação e dificuldades metodológicas tais como ausência de imagens de satélite adequadas, dificuldades de execução de trabalhos de campo, rápida regeneração natural, entre outros.

Embora já existam produtos de sensoriamento remoto validados para diversas regiões do globo terrestre, a Amazônia e outras regiões com domínio de florestas tropicais ainda são carentes de mapeamentos sistemáticos das áreas atingidas por incêndios florestais, uma vez que os produtos quando existentes, ainda estão em fase de ajuste e validação (SETZER et al., 2007). Assim, os mapeamentos das cicatrizes de incêndios em florestas tropicais são prejudicados: (a) pela alta ocorrência de nuvens nessas áreas (ASNER, 2001; XAUD, 2013); (b) pelo próprio dossel florestal que tende a esconder os sinais de incêndios superficiais (sub-bosque) e (c) pela resolução espacial mais grosseira (~1,0 km) de alguns sensores que pode omitir pequenas áreas queimadas.

Por conta da maioria das nuvens serem praticamente invisíveis para o imageamento com sensores de microondas, o sensoriamento remoto com radar tem sido investigado como alternativa para detecção de mudanças de uso do solo na Amazônia, incluindo mapeamento de desmatamentos e áreas queimadas (SANTOS et al., 1998; MARTINS, 2012). A missão de sensoriamento remoto orbital com microondas mais completa em termos de percentual de cobertura na Amazônia, periodicidade de revisita, resolução espacial e variação dos modos de imageamento, foi obtida com o sensor PALSAR, a bordo do satélite ALOS (ROSENQVIST et al., 2007); havendo a continuidade e evolução da missão com o satélite ALOS-2 (JAXA).

Neste contexto, busca-se melhorar a perspectiva de mapeamento de florestas tropicais degradadas por fogo a partir de utilização de imagens SAR (Synthetic Aperture Radar). Desta forma, o objetivo consistiu em avaliar a potencialidade de imagem ALOS/PALSAR FBS (HH) e dados derivados de processamento (e.g. texturas) para o mapeamento de áreas queimadas em região (Figura 1) de floresta tropical acometida por incêndios recorrentes.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

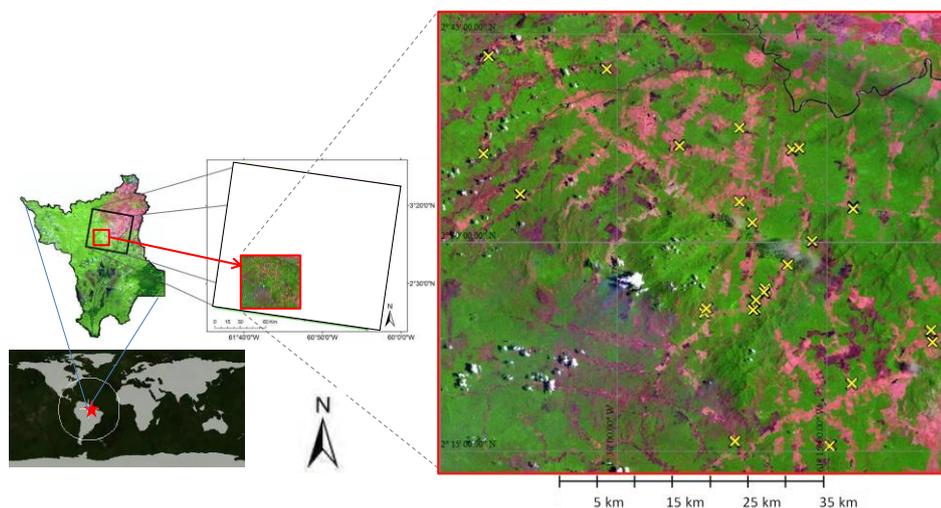


Figura 1 – Localização da área de estudo com pontos de verificação na região do Apiaú e Roxinho, estado de Roraima, Brasil.

2.2 Imagem ALOS/PALSAR: descrição e seleção

A imagem do sensor PALSAR (Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar) foi proveniente do satélite ALOS (Advanced Land Observing Satellite). O PALSAR é um radar imageador de abertura sintética (SAR), que opera na banda L (~23 cm), frequência de 1270

MHz, sendo capaz de gerar imagens sobre regiões cobertas por nuvens e à noite. A imagem PALSAR (jan.2008) utilizada neste trabalho foi obtida em modo de polarização simples (FBS), com nível de correção L1.1, contendo somente a informação da polarização HH, com uma resolução espacial de 7,5 m em “ground range” e 3,2 m em azimute, para um ângulo central de visada de 38,8°. A imagem ALOS/PALSAR foi escolhida de acordo com o período de incêndio ocorrido em Roraima (jan-mar.2007). A data da imagem PALSAR mais próxima e posterior ao evento foi a imagem de janeiro de 2008.

2.2.1 Pré-processamento

A imagem ALOS-PALSAR (HH) foi ortorretificada no programa ASF-MapReady utilizando modelo de reamostragem bicúbico e como Modelo Digital de Elevação (DEM) um mosaico de imagens altimétricas do Topodata (Valeriano, 2008), em escala de 1 radiano (aproximadamente 30 m no Equador). O DEM foi reprojeta para projeção UTM, datum WGS-84, utilizando reamostragem por convolução cúbica, com célula de resolução de 30 x 30m, para a compatibilização ideal com as imagens Landsat (GloVis). Da imagem complexa FBS (HH) com nível de processamento L1.1, se obteve a polarização HH em amplitude e sigma zero devidamente ortorretificada no ASF-MapReady. Durante o pré-processamento foram realizadas calibrações quanto à variação do retroespalhamento em relação ao ângulo de incidência ao longo da imagem e em relação à variação do ângulo de incidência em relação ao modelo de elevação. Não foram realizadas interpolações para compensar a ocorrência de *layover* e sombras, causadas pela interação ângulo de incidência, sinal SAR e o relevo, uma vez que foram realizados testes primários e verificou-se que tal procedimento alterava os valores de retroespalhamento da imagem como um todo piorando a qualidade da mesma, uma vez que não podia ser realizado em conjunto com a correção para o ângulo de incidência. A imagem em amplitude foi salva em geotiff e a partir da mesma foram geradas imagens intensidade (ou potência) no ENVI 4.7. Após esta etapa foi feita uma verificação visual no software ENVI 4.7 ao longo de toda a imagem, através de visualização acoplada a uma imagem TM ortorretificada (GloVis) de março de 2007, constatando adequada geometria. A imagem HH intensidade gerada foi submetida à análise visual para verificação de necessidade de correção do padrão de antena e determinação do Número Equivalentes de Looks (NEL) para verificar a necessidade de correção do ruído “speckle” por técnicas de filtragem. Verificou-se que, uma vez que na ortorretificação no ASFMapReady, a imagem foi ajustada e amostrada para 30 m de resolução, o efeito de reamostragem “multilook” fez com que não mais houvesse necessidade de correção do ruído “speckle”. A imagem-amplitude foi submetida à geração de imagens textura no ENVI. Foram obtidas cinco imagens texturas de ocorrência (média, variância, entropia, assimetria e “amplitude de dados”) e oito imagens texturas de coocorrência (média, variância, homogeneidade, dissimilaridade, entropia, contraste, correlação e segundo momento) (HARALICK et al., 1973; ANYS et al., 1994). Vale ressaltar que os filtros aplicados foram de 5x5 pixels e os níveis digitais de quantização foram de 64, posteriormente reamostrados para 0-255 níveis digitais.

2.2.2 Processamento

A imagem ALOS/PALSAR (2008) em amplitude e intensidade, bem como as imagens-textura (derivadas da amplitude) foram incorporadas a um banco de dados em ambiente de classificação orientada a objetos (OBIA) do Definiens (8.0). Para auxiliar na visualização de áreas impactadas pelo incêndio de 2007 e na escolha de amostras para a classificação, as imagens TM (bandas 3, 4, 5) de 1986, 1998, 2003 e 2007 foram também inseridas. Para a produção de amostras independentes que pudessem servir de orientação para as classificações, as imagens TM e as imagens amplitude e intensidade de 2008 foram também inseridas no ENVI 4.7. Foram coletadas regiões de interesse (ROIs) com base na interpretação

multitemporal de imagens TM e em informações de vistorias de campo, que indicaram 5 classes de cobertura florestal encontradas nestas áreas atingidas por incêndios em Roraima (Figura 2).

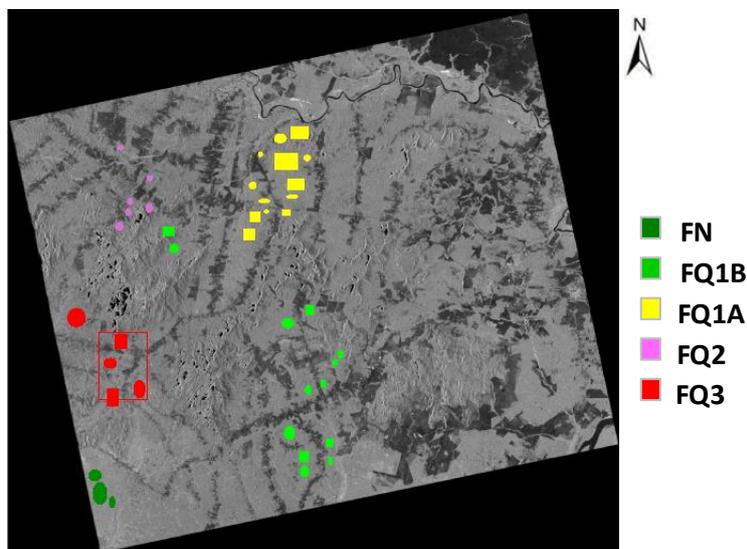


Figura 2 – Imagem ALOS/PALSAR FBS (HH) de jan. 2008 e a amostragem de acordo com a recorrência de incêndios florestais; (FN) Floresta não queimada; (FQ1B) Floresta Queimada 1 vez - Baixa Intensidade; (FQ1A) Floresta Queimada 1 vez - Alta Intensidade; (FQ2) Floresta Queimada 2 vezes; (FQ3) Floresta Queimada 3 vezes e Outras (água; áreas antropizadas; vegetação não florestal, etc.).

2.3 Os principais procedimentos em OBIA

2.3.1 Criação de classes de interesse

A categorização temática foi derivada da interpretação visual preliminar e no conhecimento advindo dos trabalhos de campo (XAUD et al., 2013). As classes de interesse foram assim definidas: (FN) Floresta não queimada; (FQ1B) Floresta Queimada 1 vez - Baixa Intensidade; (FQ1A) Floresta Queimada 1 vez - Alta Intensidade; (FQ2) Floresta Queimada 2 vezes; (FQ3) Floresta Queimada 3 vezes e Outras Classes (água; sombra de relevo; áreas antropizadas; vegetação não florestal, etc.).

2.3.2 Segmentação (criação de objetos)

Existem diversos algoritmos para a realização da segmentação no Definiens, tendo sido utilizado o algoritmo baseado em multiresolução, o qual é considerado o processamento mais demorado, mas que produz uma segmentação mais adequada. A segmentação multiresolução forma polígonos de tamanhos irregulares, mas de conteúdo homogêneo, onde cada um deles passa a ser reconhecido e identificado como um objeto único que é utilizado no armazenamento e na extração de atributos das imagens. No processo de segmentação multiresolução é avaliada a similaridade entre objetos vizinhos a serem criados por crescimento de regiões. A segmentação foi ponderada com um peso médio de (50% ou 0,5) para a informação de forma, que equivale a 50% ou 0,5 para o peso complementar de cor, e, um peso médio (50% e 0,5) para o parâmetro de compacidade. Foram testados diferentes fatores de escala (5, 10, 20, 50 e 100, 200, 500, 1000 e 4000), que também alteram a forma e a média de tamanho dos objetos segmentados. A escolha dos níveis de segmentação a serem utilizados são de caráter empírico e de acordo com as finalidades de cada projeto, como a maioria dos processos de segmentação).

2.3.3 Seleção de amostras

Na sequência foi realizada a escolha de amostras de treinamento selecionando-se as amostras a partir dos objetos derivados da operação de segmentação. A partir destas amostras são criadas as regras para a realização da classificação das imagens. Esta seleção pode ser refinada através da substituição parcial ou total das amostras escolhidas. Para tanto pode-se utilizar da visualização das amostras e de seus histogramas, podendo-se verificar antes da classificação, como está a separabilidade entre as amostras de diferentes classes de interesse.

2.3.4 Otimização do espaço de atributos (Feature Space Optimization) e classificação

Nesta etapa foram avaliadas a composição de atributos a serem utilizados para descrever o universo de dados a serem selecionados para obter a desejada separabilidade das classes de interesse. O cuidado na escolha dos atributos visa à produção de um mapa de uso do solo e cobertura vegetal com a menor confusão possível entre suas classes. O procedimento de otimização dos atributos a serem utilizados em classificação de imagens orientadas a objeto foi testado com sucesso para o mapeamento de classes de cobertura vegetal em uma área periurbana por Xaud et al. (2009). O método mostrou ser rápido, eficiente, robusto e flexível, ao executar automaticamente a normalização dos dados qualquer que seja a quantização das imagens de entrada e por permitir: a classificação conjunta de imagens ópticas e de radar; apresentação de indicadores (separabilidade total e por classes) que ajudam na decisão prévia sobre os atributos a serem utilizados; a escolha do número desejado de atributos a serem utilizados; que as imagens sejam mantidas inalteradas no banco de dados, havendo economia do espaço de armazenamento; e por não haver limitação para o número de atributos a serem testados conjuntamente.

2.3.5 Validação

Escolhidos os atributos e realizada a classificação, as imagens temáticas passaram por uma validação qualitativa realizada visualmente com base na comparação com amostras referências e com a ocorrência de focos de calor (ano 2007). Como critério quantitativo foi utilizada a separabilidade obtida na seleção otimizada de atributos.

3. Resultados e Discussão

3.1 Segmentação

Foram testados valores para segmentação multiresolução (DEFINIENS, 2011) utilizando-se somente as imagens PALSAR 2008 (Amplitude e Intensidade) e a imagem TM. Para imagem PALSAR houve necessidade de aumentar a importância da forma em relação à cor (nível digital) de 0,1 (10%) para 0,5 (50%). O fator de escala inicial (mais detalhado) foi de 200, aumentando para 500, 1000 e 4000, no sentido de maior agrupamento de objetos. A opção que visualmente permitiu uma adequada separação de objetos, buscando-se detalhar alguma nuance de cicatriz de incêndios em floresta foi derivada da aplicação do fator de escala de 1000. Abaixo deste limiar de escala a segmentação ficou excessiva e acima, tornou-se insuficientemente detalhada. Mesmo com uma razoável aproximação, a segmentação escolhida para dar continuidade à classificação foi a baseada em TM (Figura 3). Isto facilitou a identificação de áreas comuns nos dois grupos de imagens, TM e PALSAR.

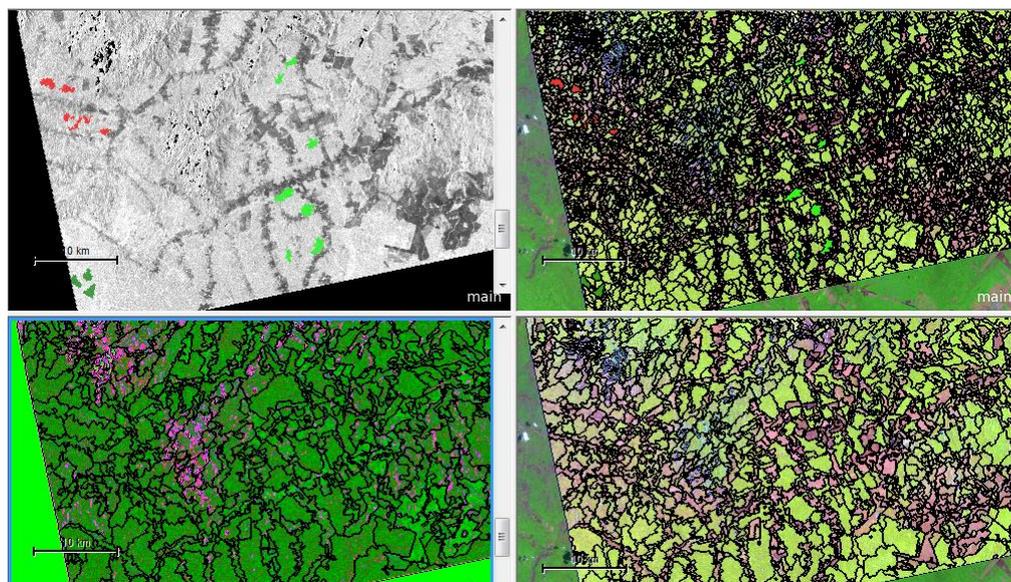


Figura 3 – Segmentação evidenciando (a) uma imagem PALSAR com amostras (FN, FQ1B, FQ1A, FQ2 e FQ3); (b) imagem TM (RGB) + PALSAR com o nível de resolução mais detalhado; (c) nível de resolução médio; (d) e o nível menos detalhado.

Em relação à seleção de atributos para otimizar a classificação foram observados os seguintes critérios: valor da Separabilidade Global; ordem dos atributos no alcance desta separabilidade; no. ótimo de atributos para alcance da maior separabilidade possível (XAUD et al., 2009). Foi ainda acrescentada a informação relativa à sobreposição de histogramas entre as classes avaliadas, duas a duas, como já utilizado em trabalhos que empregaram classificação orientada a objetos. Quanto menor for a sobreposição entre histogramas de duas classes (Figura 4A) no espaço de atributo espectral de cada imagem, melhor será a separabilidade (Figura 4B) e, conseqüentemente, a classificação final.

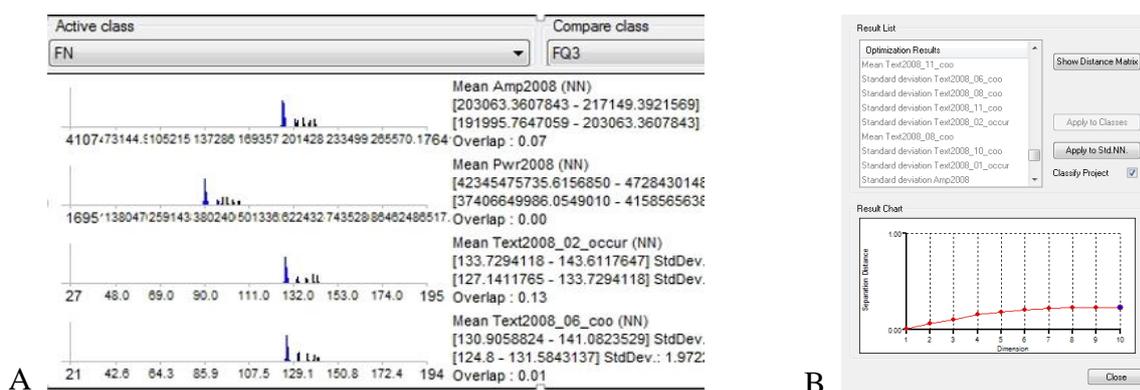


Figura 4. (A) histogramas de duas classes, avaliadas em diferentes imagens; (B) exemplo da otimização do espaço de atributos, demonstrando estabilização da separabilidade já a partir do 7°. Atributo.

Pela análise dos produtos derivados das imagens PALSAR, ficou evidente que as imagens texturas adicionam informação capaz de melhorar a separabilidade entre as classes de interesse e, conseqüentemente, diminuir os erros de classificação. Alguns autores concluíram por melhoras da ordem de 10% na acurácia global, a partir da inclusão de imagens texturas na análise com objetivo de mapeamento de florestas tropicais.

Baseado nos resultados pode-se dizer que as texturas que mais se destacaram foram: Entropia por coocorrência, Homogeneidade por coocorrência e Correlação por coocorrência,

além dos desvios padrões (SD) derivados das imagens texturas. Deve-se destacar ainda que a própria imagem Intensidade se destacou na separabilidade global obtida quando se testou 2, 4 e 15 imagens, demonstrando ser uma imagem importante a ser utilizada nas classificações.

O mapa produzido de acordo com a seleção dos melhores atributos, considerando somente dados derivados do PALSAR polarização HH, apresentou-se como um mosaico de florestas, em sua maioria, atingidas por incêndios, como de fato se observou na área de estudo (Figura 5).

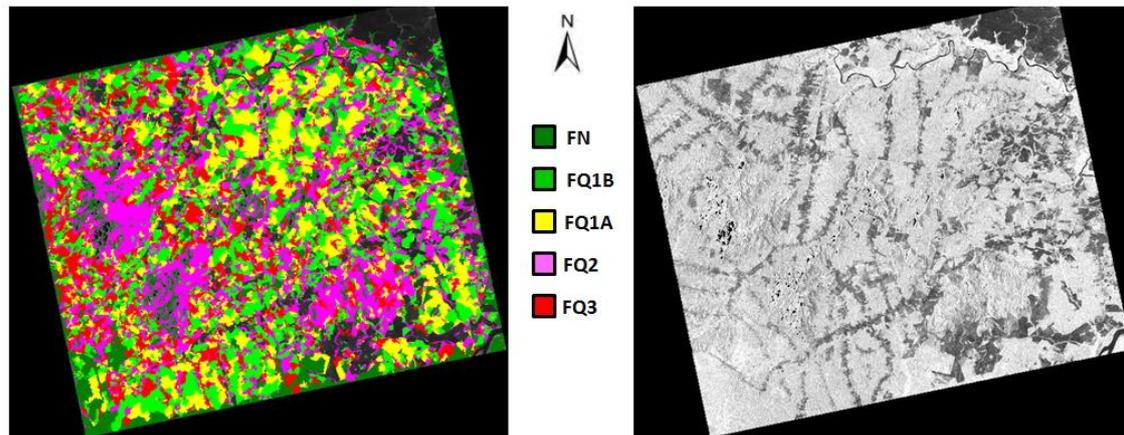


Figura 5. Mapeamento de degradação florestal por incêndios (Apiaú-Roxinho), a partir de dados PALSAR, FBS, polarização HH; à esquerda o resultado da classificação (OBIA) e à direita uma imagem intensidade.

Houve uma baixa sensibilidade para o mapeamento das florestas queimadas no incêndio de 2007. Uma possível explicação para esta dificuldade das imagens do PALSAR na detecção das áreas florestais afetadas em 2007, pode estar relacionada ao fato deste incêndio ter sido de menor escala quanto à área atingida e quanto ao tempo que permaneceu ativo, gerando impactos que não chegaram a afetar a estrutura florestal em curto prazo. Uma hipótese plausível seria a de que há menos de um ano após o incêndio (mar.2007), quando houve o imageamento com o PALSAR (jan.2008), a maioria das árvores atingidas estava ainda em pé, mesmo que algumas pudessem estar mortas ou em senescência devido à queima total ou parcial. Uma vez que a interação das microondas do PALSAR (banda L) na floresta, não é sensível diretamente à variação da quantidade de folhas, ou galhos finos, devido seu maior poder de penetração (ROSENQVIST et al., 2007), os impactos imediatos na floresta, ao menos em parte da região dos incêndios superficiais de 2007, parece não ter sido o suficiente para alterar a resposta espectral nas microondas, quando do imageamento pelo PALSAR. Adicionalmente, a partir da classificação de imagem do PALSAR de apenas uma data (jan.2008) em ambiente OBIA, foi verificada a existência de histórico de forte variação espacial na degradação florestal pelos incêndios anteriores de 1998 e/ou 2003, o que está de acordo com Martins et al. (2012) e Xaud et al. (2013).

4. Conclusões

Foram investigadas imagens ALOS/PALSAR que se constituem numa das principais metodologias de sensoriamento remoto para realização de mapeamentos de cobertura e uso da terra em locais com alta ocorrência de nuvens. De uma imagem FBS na polarização HH, foram derivadas e utilizadas 30 novas imagens-atributos para a data de janeiro de 2008 que foram investigadas em suas potencialidades para a detecção de áreas afetadas por incêndios florestais do ano de 2007. Concluiu-se que as imagens PALSAR HH e seus dados derivados, texturas e imagens SD (desvio-padrão), conseguiram detectar parcialmente o evento de incêndio recente na área de estudo. Já para o histórico de incêndios, os processamentos

utilizados foram eficientes para a seleção de imagens-atributos derivadas do PALSAR com maiores perspectivas de adicionalidade de informações úteis para a detecção de áreas florestais afetadas por incêndios na região. Devido a este potencial, sugere-se a investigação de utilização de imagens SAR, banda L, em estratégias de classificação multisensor.

Agradecimentos

Este trabalho se originou da Tese (INPE) do primeiro autor, orientada pelo Dr. João Roberto dos Santos, sendo integrados à continuidade das investigações de aplicações de sensoriamento remoto para estudos sobre incêndios florestais, que prosseguem através de projetos com a finalidade de mapeamento e medição de impactos ambientais na região (GeoMucajaí/Embrapa; FATE-Amazônia/CNPq). Agradecimentos ao INPE e à Embrapa Roraima pelo suporte ao trabalho de campo e laboratorial (Sensoriamento Remoto).

Referências Bibliográficas

- ASNER, G. P. Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, p. 3855-3862, 2001.
- COCHRANE, M. A. O significado das queimadas na Amazônia. **Ciência Hoje**, v. 27, n. 157, p. 26-31, 2000.
- HARALICK, R. M.; SHANMUGAN, K.; DINSTEN, I. Textural features for image classification, **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. 3, n. 6, p. 610-621, 1973.
- MARTINS, F. S. R. V.; XAUD, H. A. M.; SANTOS, J. R.; GALVAO, L. S. Effects of fire on above-ground forest biomass in the northern Brazilian Amazon. **Journal of Tropical Ecology**, v. 28, n. 6, p. 591-601, 2012. doi: <10.1017/S0266467412000636>.
- ROSENQVIST, A.; SHIMADA, M.; ITO, N.; WATANABE, M. ALOS PALSAR: A Pathfinder Mission for Global-Scale Monitoring of the Environment. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 45, n. 11, p. 3307-3316, 2007.
- SANTOS, J. R.; PARDI LACRUZ, M. S.; ARAÚJO, L. S.; XAUD, H. A. M. El proceso de queima de biomassa de bosque tropical y de sabanas en la Amazonia Brasileira: experiencias de monitoreo com dados ópticos y de microondas. **Série Geográfica**, v. 7, p. 97-108, 1998.
- SETZER, A.; MORELLI, F.; LOMBARDI, R. Estimativa quinzenal de áreas queimadas nas imagens MODIS do INPE. In: RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. (Eds.). **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: A. Silva Ed., 2007. p. 403-417.
- XAUD, H. A. M.; FONSECA, L. M. G.; GOLTZ, G. A. M.; SANTOS, J. R.; XAUD, M. R. Object-based image analysis applied to SAR and optical data for mapping periurban areas in Brazil. In: EARSel WORKSHOP IN LAND USE AND LAND COVER, 3, 2009, Bonn - Germany. **Proceedings...** Bonn: EARSel, 2009.
- XAUD, H. A. M.; MARTINS, F. S. R. V.; SANTOS, J. R. Tropical forest degradation by mega-fires in the northern Brazilian Amazon, **Forest Ecology and Management**, v. 294, p. 97-106, 2013.