

Uso de imagens R99-SAR/SIPAM no programa de monitoramento do desmatamento da floresta amazônica brasileira

Wallace de Freitas Teixeira
Eduardo da Silva Pinheiro

Universidade Federal do Amazonas - UFAM
Av. Gen. Otávio Rodrigo Ramos, 3000. Manaus, AM, Brasil
wallace.teixeira@sipam.gov.br; pinheiro@ufam.edu.br

Abstract. This paper presents a preliminary evaluation of radar imagery R99 -SAR / SIPAM to Brazilian Forest Monitoring Program. In Brazil, the main projects for monitoring deforestation in the Amazon are developed by INPE. The DETER project, publishes monthly alerts of maps with polygons larger than 25 hectares, indicating totally deforested areas (clear cut) and areas where deforestation process by progressive forest degradation. Before the release, the maps need to be qualified for alerts, using this image sensor with improved spatial resolution. Are currently used in the classification of alerts optical LANDSAT and CBERS images that have restrictions on their acquisition being influenced by atmospheric factors typical of tropical regions (clouds). Deforestation polygons mapped by the DETER project, the images R99-SAR / SIPAM were tested to qualify maps alerts, considering its high spatial resolution and ability to detect patterns of deforestation. In this study 159 polygons were analyzed, where approximately 91% could be detected by SAR-R99B/SIPAM images. Besides suffer little interference from the atmosphere, the use of radar data of high spatial resolution in the deforestation of the Amazon program can improve the skills of maps alerts DETER project and in addition to detecting deforestation to areas smaller than 6.25 hectares, small scars not detected by the sensors of medium and low spatial resolution.

Palavras-chave: radar imagery, deforestation, R99B-SAR/SIPAM, DETER Project.

1. Introdução

A observação da Terra por sensores a bordo de satélites e aeronaves possibilitou importantes avanços nos métodos, bem como a eficiência do mapeamento e monitoramento dos ecossistemas terrestres, notadamente através de suas coberturas vegetais (Aber e Mellilo 2001). O uso de sensores remotos têm sido empregados com sucesso em aplicações que envolvem grandes extensões territoriais. No Brasil, os principais projetos para o monitoramento do desflorestamento da Amazônia são desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira (PRODES) mede as taxas anuais de corte raso desde 1988, para incrementos superiores a 6,25 hectares. O Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER) apoia à fiscalização e controle do desmatamento da Amazônia e divulga mensalmente um mapa de alertas, com áreas maiores que 25 hectares. Esses mapas indicam áreas totalmente desmatadas (corte raso) e áreas em processo de desmatamento por degradação florestal progressiva (INPE, 2008). Além dos mapas com os limites dos alertas DETER, mensalmente é publicado um relatório com uma análise dos alertas baseada em imagens de satélites de média resolução (CBERS, LANDSAT), e sua disponibilidade depende da frequência de aquisição e cobertura de nuvens para a Amazônia (Amaral et al, 2009).

Os projetos de monitoramento do desflorestamento supracitados utilizam sensores que operam na faixa espectral do óptico. Ainda que permitam, de forma operacional, monitorar as florestas da Amazônia, tais projetos apresentam restrições quanto à aquisição, devido aos fatores atmosféricos típicos de regiões tropicais. Segundo Asner (2001), a probabilidade anual de obtenção de uma imagem de sensor óptico livre de cobertura de nuvens na região amazônica chega a ser inferior a 10%. Para preencher essa lacuna é necessário o uso de imagens SAR (*Synthetic Aperture Radar*), que opera na faixa das micro-ondas, com comprimento de onda e frequência que propiciam a transmissão da radiação eletromagnética

através de nuvens e fumaça, complementando e validando as informações obtidas por meio de imagens ópticas (Costa et al, 2011).

Atualmente, existem diferentes sistemas geradores de imagens SAR em nível orbital que operam em distintas bandas, frequências e polarizações, como o RADARSAT-2, TerraSAR-X e a constelação COSMO-SkyMed. No Brasil, os radares orbitais ainda permanecem em fase de pesquisa. Quanto aos aerotransportados, destaca-se o sensor do Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM), órgão federal subordinado ao Ministério da Defesa, que possui o sensor radar R99B-SAR/SIPAM operando nas bandas L e X.

Desde 2004, o SIPAM dispõe de imagens geradas a partir do sensor SAR. Este sensor foi concebido no Projeto do Sistema de Vigilância da Amazônia (SIVAM), e encontra-se acoplado em três aeronaves Embraer ERJ – 145, denominadas de R-99B, pela Força Aérea Brasileira, sendo operadas pelo 2º Esquadrão do 6º Grupo de Aviação - 2º/6º GAv (Andrade e Santa Rosa, 2005). O sistema SAR-R99B opera na banda L e X, com imagens em três resoluções espaciais distintas: 3, 6 e 18 metros (Costa, 2011).

Estudos para identificar estágios finais de desmatamento (corte raso), foram anteriormente realizados em imagens SAR e JERS banda L (Almeida Filho et al., 2005). Saatchi et al (1997) analisaram o desmatamento e uso da terra em imagens SAR polarimétricas do radar SIR-C em áreas do estado de Rondônia. Angelis et al (2002) utilizaram dados do JERS-1 SAR para avaliar a evolução temporal do uso e cobertura da terra na Floresta Nacional do Tapajós, no estado do Pará. Ao fazer um estudo multitemporal do desmatamento na porção oeste da Amazônia brasileira, utilizando imagens do sensor JERS-1 SAR, Almeida Filho et al. (2007) afirmam que a detecção de áreas desflorestadas é facilmente identificadas em imagens SAR devido à alta resposta de sinal em banda L quando se faz o uso da polarização HH durante a análise. Guerra et al, (2010) obtiveram bons resultados ao realizarem classificações automática de imagens R99-SAR/SIPAM em banda L para discriminação de incrementos de desflorestamento em Rio Branco e Bujari, no estado do Acre. Análises feitas com sensores ópticos e radar mostram que as imagens SAR Banda L podem complementar informações para mapeamento do uso de cobertura da terra na Amazônia, principalmente em áreas com grande cobertura de nuvens durante maior parte do ano (Shimabukuro et al., 2007).

A assimilação de dados R99B-SAR/SIPAM poderá complementar às atividades do DETER realizadas com dados de sensores ópticos, permitindo maior precisão na detecção de desmatamento devido a melhor resolução espacial (3, 6 e 18 metros) e, principalmente, cobrir áreas com constante cobertura de nuvens, como é o caso da parte setentrional da Amazônia brasileira, onde o DETER tem capacidade limitada de monitoramento no período chuvoso.

O objetivo desse trabalho foi apresentar uma avaliação preliminar do uso de imagens R99B-SAR/SIPAM para qualificar polígonos de alerta do DETER.

1.1. Área de estudo

A área de estudo limitou-se ao Município de Novo Repartimento-PA (Figura 1). Sua área corresponde a 15.399 km², e desse total 4.540 Km² são ocupados por estabelecimentos agropecuários (IBGE/2006).

A escolha da área de estudo justifica-se pela quantidade significativa de alertas DETER localizados nesse município no mês de agosto de 2008, e o mesmo ter sido incluído pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) na lista dos 36 municípios que mais apresentaram aumento da taxa de desmatamento no período de 2003 a 2007, de acordo com a Portaria nr 28 do MMA, de 24 de janeiro de 2008. Nesse estudo propôs-se utilizar os polígonos de alerta DETER para avaliar como imagens R99B-SAR/SIPAM poderiam contribuir na qualificação desses dados.

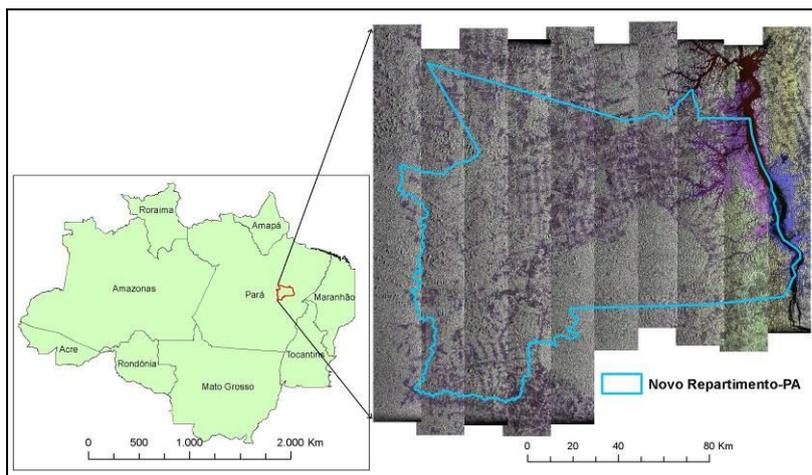


Figura 1. Área de estudo - 10 faixas de imagens R99B-SAR/SIPAM Município de Novo Repartimento-PA.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Dados DETER

A qualificação dos dados do DETER tem como objetivo caracterizar áreas de desmatamento (alerta) referentes às duas quinzenas de cada mês. Antes da divulgação dos dados quinzenais de alertas do DETER na internet (<http://www.obt.inpe.br/deter/>), a qualificação é feita com imagens provenientes de sensores a bordo dos satélites CBERS e LANDSAT, adquiridas em período equivalente ao das Imagens MODIS, com resolução espacial mais fina, de 20 e 30 m, respectivamente. A Figura 2 apresenta a amostragem realizada para a qualificação de agosto de 2008.

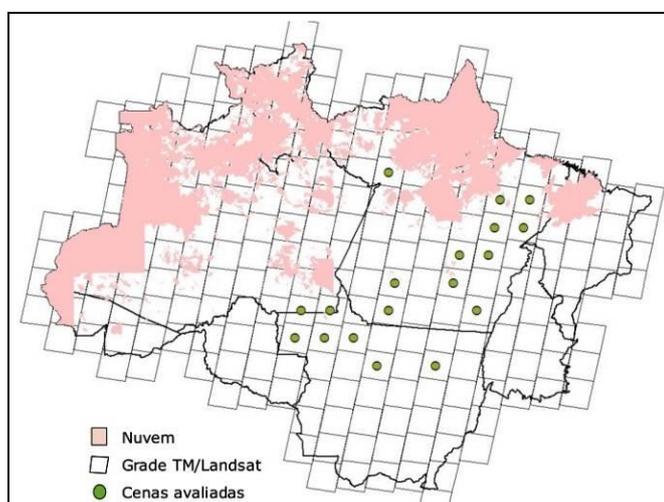


Figura 2. Cobertura de nuvens (rosa) e cenas qualificadas dos dados de alerta DETER para agosto de 2008. (Fonte:INPE, 2008)

Outra fonte de dados para validar os alertas são as expedições de campo realizadas com órgãos parceiros do INPE. As fotos referentes às expedições de campo ficam disponíveis em <http://www.obt.inpe.br/fototeca/> (INPE, 2014).

Nessa pesquisa foram analisados polígonos de alertas DETER emitidos entre agosto de 2007 e agosto de 2008, totalizando 13 alertas emitidos antes da data da aquisição das imagens R99-SAR/SIPAM (setembro de 2008). Foram avaliados sobre as imagens R99-SAR/SIPAM, de modo a simular sua detecção através de interpretação visual, 159 polígonos de alerta DETER maiores que 25 hectares, localizados no município de Novo Repartimento-PA.

2.2. Dados da Missão SIPAM/SAR-MMA/2008

A Missão SIPAM/SAR-MMA/2008, realizada pelo SIPAM em parceria com o MMA, integrando a Operação Arco Verde do Governo Federal, ocorreu em 2008 e analisou a área de 36 municípios que mais apresentaram aumento da taxa de desmatamento no período de 2003 a 2007, na Amazônia Legal. Um dos produtos gerados por essa missão foi a vetorização (polígonos) de toda área desmatada (corte raso) nos municípios analisados.

Para essa pesquisa foram utilizados como dados auxiliares na interpretação visual de áreas desmatadas nas imagens R99-SAR/SIPAM, os polígonos de desmatamento da Missão SIPAM/SAR-MMA/2008 na área do município de Novo Repartimento-PA (Figura 3).

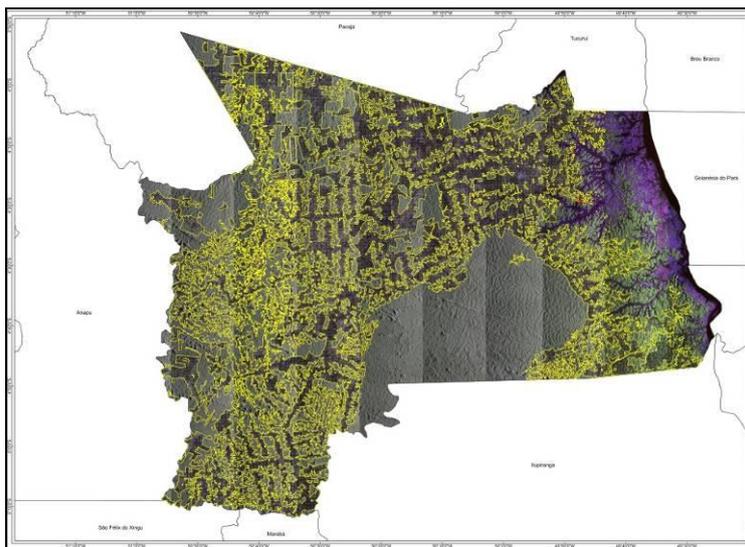


Figura 3. Polígonos de áreas desmatadas (amarelo) no município de Novo Repartimento-PA, operação Arco Verde/2008. (Fonte: Costa et al, 2011)

2.3. Imagens R99-SAR/SIPAM

O sistema R99-SAR/SIPAM opera na banda L (1,27 GHz de frequência e 23,9 cm de comprimento de onda), com dados polarimétricos, ou seja, envia e recebe radiação eletromagnética nas polarizações vertical, horizontal e cruzada (HH, VV, HV e VH), e na banda X (frequência de 9,69 GHz e comprimento de onda em torno de 3,1 cm) com uma única polarização (HH). Permite obter imagens em três resoluções espaciais distintas: 3, 6 e 18 metros com faixas apresentando larguras que variam de 10 a 120 km (Costa, 2011). Nesse trabalho foram utilizadas 10 faixas de imagens SAR banda L, polarizações HH, HV e VV, adquiridas no dia 27 de setembro de 2008. Os parâmetros de aquisição e processamento são os seguintes:

- Data da coleta: 27/09/2008
- Modo de Imageamento: Quad L+X
- Polarizações: HH, HV, VH e VV
- Altitude de vôo: 35.000 pés
- Tipo de dado: Unsigned 08 bits
- Número de Looks: 08
- Resolução espacial: 06 metros.
- Sistema de Coordenadas: geográficas (lat/long)
- Datum (Sistema Geodésico): WGS-84
- Software de processamento: PROSAR-BR

Para implementação dos dados R99-SAR/SIPAM no programa Monitoramento da Amazônia por Satélites do INPE, as imagens deverão ser ortorretificadas e, caso necessário,

poderão passar pelo processo de correção do padrão de antena, técnica de correção radiométrica que garante uma homogeneização do brilho da imagem no sentido de alcance (Mura et al, 2007). Não foi aplicada correção do padrão de antena nas imagens utilizadas nesse trabalho por apresentarem qualidade satisfatória.

Para o georreferenciamento, composição colorida e visualização das imagens R99-SAR/SIPAM, bem como a organização e visualização dos polígonos de alerta DETER, foi utilizado o software ArcMap 10.1, licenciado para o Centro Regional de Manaus (CENSIPAM).

2.4. Interpretação visual das imagens R99-SAR/SIPAM

Em imagens de RADAR o retroespalhamento (retorno do sinal emitido) varia com o tamanho dos alvos e o comportamento espectral muda conforme a polarização (H-Horizontal e V-vertical), ampliando assim o espectro de observação (Ponzoni et al, 2012). Composições coloridas utilizando diferentes polarizações destacam além de formas geométricas, cores e tons diferenciados para classes diferentes. Na composição falsa-cor R-LHH, G-LHV e B-LVV utilizada na pesquisa, áreas desmatadas tem textura lisa e tonalidade escuro-avermelhada e áreas florestadas tem textura rugosa e tonalidade claro-esverdeada. Corpos d'água (rios e lagos) têm resposta escura (Figura 4). Essas propriedades facilitam a interpretação visual das imagens R99-SAR/SIPAM para mapeamento de desmatamento.

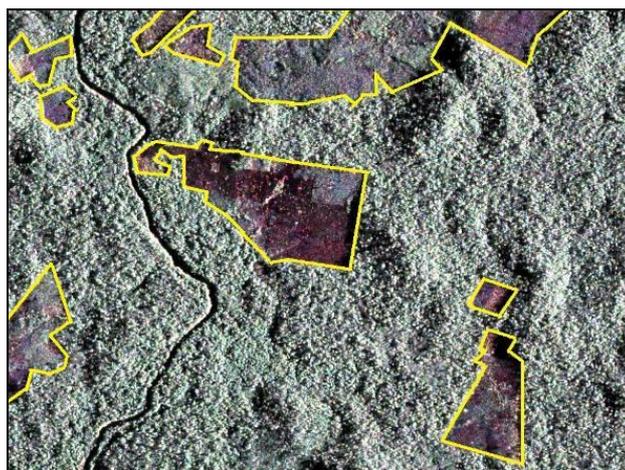


Figura 4. Composição falsa-cor (R-LHH, G-LHV e B-LVV). Em destaque, áreas desmatadas (polígonos amarelos).

Os polígonos de alerta DETER foram sobrepostos às imagens R99-SAR/SIPAM e interpretados visualmente quanto à capacidade de discernir padrões de resposta diferenciados.

Além da variação da tonalidade e textura, a presença de limites retilíneos nas feições foi usada como critério para interpretação. Cada polígono de alerta DETER foi então qualificado quanto à possibilidade de ser discriminado ou não nas imagens avaliadas. Para separar desmatamentos ocorridos antes do período avaliado nessa pesquisa, utilizou-se uma máscara com polígonos de desmatamentos anteriores a agosto de 2007 (INPE, 2007).

3. Resultados e Discussão

A precisão de posicionamento das imagens R99-SAR/SIPAM em relação aos polígonos de alerta DETER, variou entre 70 e 140 metros, sendo suficiente para a análise por interpretação visual proposta.

O uso da máscara com polígonos de desmatamento anteriores a agosto de 2007 auxiliou na separação das áreas desmatadas passíveis de serem detectadas pelos alertas DETER de agosto de 2007 a agosto de 2008, como pode ser observado na Figura 5.

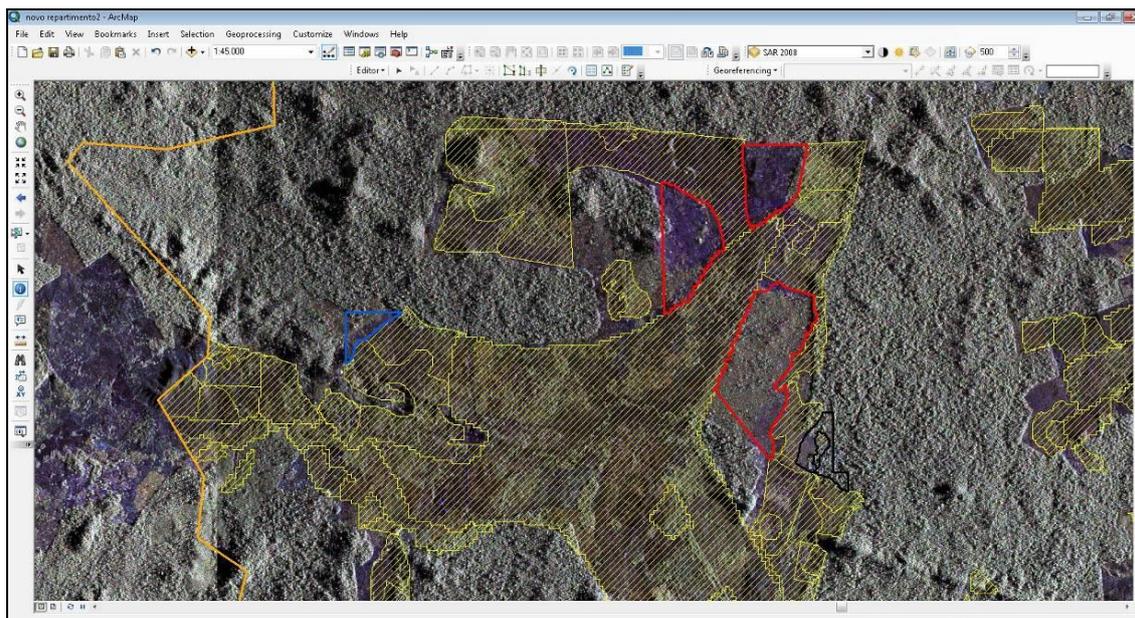


Figura 5. Sobreposição dos polígonos de alerta DETER sobre imagens R99B-SAR/SIPAM (setembro/2008). Alertas DETER de agosto/2007 (preto), junho/2008 (azul) e agosto/2008 (vermelho), coincidem com áreas desmatadas. Desmatamentos anteriores a agosto de 2007 estão identificados pela máscara do PRODES/2007 (amarelo), usada para auxiliar a identificação e validação dos alertas DETER.

Dos 159 polígonos de alerta DETER verificados, 145 (91,1%) foram identificados sobre as imagens R99-SAR/SIPAM (Tabela 1). A grande capacidade de detecção está diretamente relacionada a alta resolução espacial (6 m) e o uso de bandas polarizadas na composição colorida falsa-cor, destacando áreas desmatadas em floresta tropical, facilitando a interpretação visual.

Tabela 1 – Polígonos de alerta DETER (>25 ha) localizados no município de Novo Repartimento-PA, analisados e detectados nas imagens R99-SAR/SIPAM.

		Alertas DETER	Deteção R99-SAR	%
2007	Agosto	16	16	100
	Setembro	0	0	-
	Outubro	0	0	-
	Novembro	0	0	-
	Dezembro	0	0	-
2008	Janeiro	0	0	-
	Fevereiro	0	0	-
	Março	0	0	-
	Abril	0	0	-
	Maio	17	14	82,3%
	Junho	19	16	84,2%
	Julho	23	21	91,3%
	Agosto	84	78	92,8%
Total de alertas		159	145	91,1%

Dentre os alertas analisados, 14 (8,9%) não foram identificados como áreas desmatadas nas imagens R99-SAR/SIPAM. Tais polígonos podem estar relacionados a degradação florestal progressiva, detectados pelo sensor MODIS e de difícil percepção na interpretação visual de imagens do R99-SAR/SIPAM, como mostra o exemplo da Figura 6.

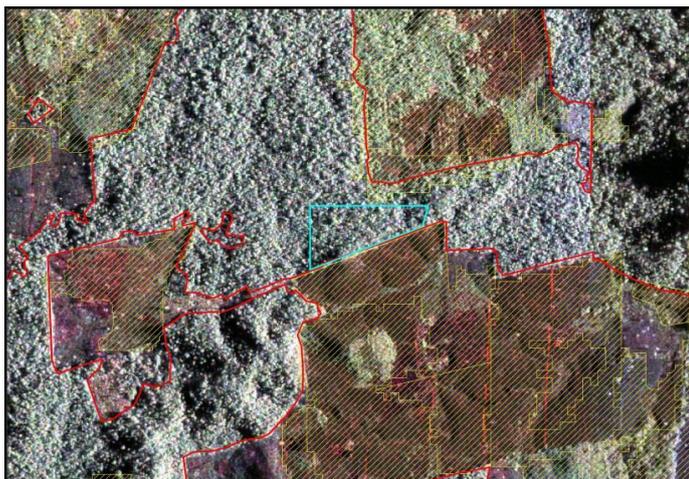


Figura 6. Alerta DETER emitido em Julho/2008 (azul) não identificado como área desmatada nas imagens R99-SAR/SIPAM de setembro/2008 (vermelho).

Considerando que as imagens R99-SAR/SIPAM tem capacidade de detecção de áreas desmatadas abaixo de 6,25 hectares, limitação das imagens ópticas utilizadas para qualificação dos alertas DETER (TM/Landsat ou CBERS), verificou-se que para o município de Novo Repartimento-PA na MISSÃO SIPAM/SAR-MMA/2008 foram gerados através de interpretação visual, 901 polígonos de desmatamento, onde 571 são menores que 25 ha (limitação dos alertas DETER) e 292 tem área abaixo de 6,25 ha, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Polígonos da MISSÃO SIPAM/SAR-MMA/2008

Tamanho (ha)	Quantidade
0,3 a 6,24	292
6,25 a 24,9	279
> 25	330
Total	901

4. Considerações finais

A metodologia aplicada através da interpretação visual das imagens R99-SAR/SIPAM para identificar polígonos do DETER mostrou-se adequada para qualificação dos alertas, considerando a média de identificação de 91,1% dos dados analisados.

A pesquisa revelou que as imagens de alta resolução do R99-SAR/SIPAM, além de não sofrerem interferência de nuvens, podem mapear áreas desmatadas menores que 6,25 hectares, identificando áreas que não são detectadas pelos sensores utilizados na qualificação dos alertas DETER.

Atualmente, o SIPAM dispõe de módulos de processamento que geram imagens R99-SAR/SIPAM ortorretificadas, o que deve apresentar uma melhora considerável na geometria dessas imagens.

Considerando que o processo de interpretação visual requer analistas experientes e dependendo da dimensão da área de estudo e da escala de análise, pode consumir uma grande quantidade de horas de trabalho, sugere-se que novas pesquisas sejam realizadas com classificadores automáticos destinados a imagens de radar, visando automatizar o processo de mapeamento do desmatamento utilizando imagens R99-SAR/SIPAM.

Agradecimentos

Ao Sistema de Proteção da Amazônia - Centro Regional de Manaus, por ter cedido gentilmente as imagens R99-SAR/SIPAM para essa pesquisa, bem como o uso de sua base de dados e do software ArcMap 10.1.

Referências bibliográficas

ABER, J.D. e MELILLO, J.M. **Terrestrial Ecosystems**. 2nd Edition, 2001. Harcourt, San Diego.

ALMEIDA-FILHO, R.; ROSENQVIST, A.; SHIMABUKURO, Y. E.; SANTOS, J. R. **Evaluation and Perspectives of Using Multitemporal L-Band SAR Data to Monitor Deforestation in the Brazilian Amazônia**. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, v. 2, n. 4, p. 409-412, 2005.

AMARAL, S. et al. **Imagens ALOS/PALSAR Kyoto & Carbon no programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Natal, RN, Brasil, 2009, INPE p.5065-5072.

ANDRADE, N. S. O., SANTA ROSA, A. N.. **O novo sistema SAR multipolarimétrico aerotransportado brasileiro. In: 1a Reunião de Coordenação das Atividades de Planejamento, Execução e Produção de Imagens de Missões de Sensoriamento Remoto Realizadas Pelas aeronaves R-99 B e R-95**. Brasília – DF, 2005. CD-Rom. 24p.

ANGELIS, C.F., FREITAS, C.C., VALERIANO, D.M. and DUTRA, L.V., 2002, **Multitemporal analysis of land use/land cover JERS-1 backscatter in Brazilian tropical rainforest**. International Journal of Remote Sensing, 23, pp. 1231–1240.

ASNER, G. P. **Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon**. International Journal of Remote Sensing, v. 22, n. 18, p. 3855-3862, 2001.

COSTA, J. A. L. **Avaliação de dados de radar do sensor SAR-R99B no mapeamento do uso e cobertura da terra na Amazônia Central, município de Manaus, AM**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) Universidade Federal do Amazonas, 2011.

COSTA, S. S. et al. **Operação Arco Verde: Análise do desmatamento por meio de imagens do SIPAM R99/SAR**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 2011, INPE p.2997

GUERRA, Júlio Bandeira; MURA, José Claudio and FREITAS, Corina da Costa. **Discriminação de incrementos de desflorestamento na Amazônia com dados SAR R99B em banda L**. *Acta Amazonica*. 2010, vol.40, n.3, pp. 557-565. ISSN 0044-5967.

IBGE, 2006 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) Disponível em: <www.ibge.gov.br> Acesso em: 19 de março de 2014.

INPE. **Projeto PRODES - Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. 2007. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>> Acesso em: 19 de março de 2014.

INPE. **Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real na Amazônia – DETER: Aspectos gerais, metodológicos e plano de desenvolvimento**. Relatório técnico científico contendo avaliação detalhada do DETER 2006/2007, INPE, 2008.

INPE, 2014. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/fototeca>. Acesso em: em 19 março de 2014.

MURA, J.C. et al. **Calibração preliminar dos dados SAR polarimétricos em banda L do sensor R99B do CENSIPAM**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Florianópolis, SC, Brasil, 2007, INPE p.4951-4958.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T.M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. São José dos Campos, SP:Oficina de Textos, 2012, 176 p.

SAATCHI, S. S.; SOARES, J. V.; ALVES, D. S. 1997. **Mapping deforestation and land use in Amazon rainforest by using SIR-C imagery**. Remote Sensing of Environment, (59)2: 191-202.

SHIMABUKURO, Y.E.; ALMEIDA-FILHO, R.; KUPLICH, T.M.; FREITAS, R.M. **Quantifying optical and SAR image relationships for tropical landscape features in the Amazônia**. International Journal of Remote Sensing, v. 28, n. 17, p. 3831-3840, 2007.