

Operação Arco Verde: Análise do desmatamento por meio de imagens do SIPAM R99/SAR - 2008

Solange dos Santos Costa ¹
Jorge Alberto Lopes da Costa ¹
Marisa Alves de Macedo ¹
Manoel Ricardo Dourado Correia ¹
Alexander Moia Vieira ¹
Anna Pauletti Cruz Rogério ¹
Carlos Benedito Santana da Silva Soares ¹
Cecília Maciel Barroso ¹
Fábio Eduardo de Giusti Sanson ¹
Felipe Moreira Salles ¹
Marcelo Parise ¹
Marisa Gesteira Fonseca ¹
Moacir Alberto Assis Campos ¹
Robson Lopes ¹
Wallace de Freitas Teixeira ¹

¹ Sistema de Proteção da Amazônia - SIPAM

Av. do Turismo, N. 1350, 69.049-630 - Manaus - AM, Brasil

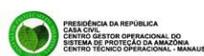
{solange.costa, jorge.costa, marisa.macedo, manoel.correia, alexander.vieira, anna.rogerio, carlos.soares, cecilia.barroso, fabio.sanson, felipe.salles, marcelo.parise, marisa.gesteira, moacir.campos, robson.lopes, wallace.teixeira}@sipam.gov.br

Abstract. Considering the agreement between the Ministry of Environment (in portuguese, Ministério do Meio Ambiente - MMA), Brazilian Air Force and the Center Manager and Operating of System of the Amazon Protection (in portuguese, Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia - CENSIPAM) imaging was performed of the 36 municipal districts in the Amazon Biome, the states of Amazonas, Pará, Mato Grosso and Rondonia, selected by the Entrance no28 of MMA, to January 24, 2008. According to this entrance, these municipal districts "will focus on priority actions to protect areas threatened with degradation and rationalization of land use in order to prevent, monitor and control illegal deforestation" (Arco Verde Operation). The images used in this study were obtained by aircraft remote sensing, R99-B, operating in the L and X bands, HH, VV, VH and HV, with a spatial resolution of 6 m, with 8 bits and 8 looks. The Brazilian Air Force was responsible for imaging and the CENSIPAM was responsible for data processing and analysis of deforestation of the images obtained by the sensor Synthetic Aperture Radar (SAR) of SIPAM. The analysis in this study showed the importance of using images R99/SAR indispensable for a more precise quantification of deforestation in the Amazon.

Palavras-chave: Legal Amazon, R99/SAR, Deforestation, Radar Images, , Amazônia Legal, R99/SAR, Desmatamento, Imagens de Radar.

1. Introdução

Nas últimas décadas as áreas de florestas tropicais foram fortemente impactadas por um rápido processo de conversão da cobertura vegetal em outros tipos de uso devido à ação antrópica. A constante cobertura de nuvens e fumaças, e respectivas sombras dificultam uma análise das áreas antropizadas por meio de imagens ópticas. Para preencher essa lacuna faz-se necessário o uso de imagens de Radar de Abertura Sintética (SAR), que opera na faixa das microondas, com comprimento de onda e frequência que propiciam a transmissão da radiação eletromagnética através de nuvens e fumaça, complementando as informações obtidas por meio de imagens ópticas. A Operação Arco Verde ocorre na área analisada, correspondente aos 36 municípios e está localizada na Amazônia Legal, nos estados do Amazonas, Mato Grosso, Pará e Rondônia (Figura 1).



MUNICÍPIOS PRIORITÁRIOS PARA AÇÕES DE PREVENÇÃO E CONTROLE DOS DESMATAMENTOS NA AMAZÔNIA EM 2008 (MMA, Portaria nº 28 de 24 de janeiro de 2008)

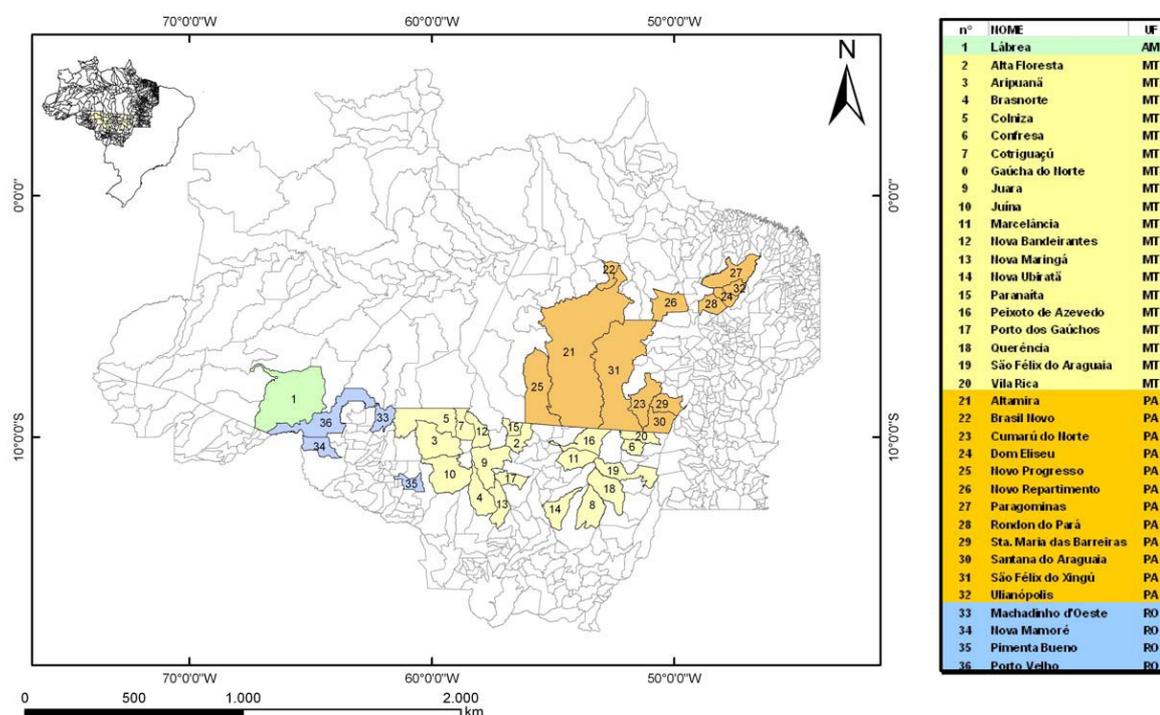


Figura 1. Mapa de localização dos 36 municípios prioritários segundo a Portaria Nº 28/2008 – MMA.

1.1 Comportamento textural de florestas em imagens SAR

De acordo com Leckie & Ranson (1998) a representação de uma floresta em imagem SAR é a combinação das respostas geradas por meio de diferentes mecanismos de espalhamento e inclui a contribuição direta do solo, tronco, copa das árvores, interação copa-solo e da reflexão dupla tronco-solo.

Segundo Lé Toan *et al.* (2002), citado por Kuplich (2003), os componentes vegetais que agem como principais fontes de espalhamento são da mesma ordem de magnitude dos comprimentos de onda com os quais interagem, ou seja, componentes vegetais menores que o comprimento de onda incidentes funcionam como atenuadores do retroespalhamento (Tabela 1).

Tabela 1. Associação entre as principais fontes de retroespalhamento e a faixa de microondas.

BANDA	X	C	L	P
Principais fontes de retroespalhamento	Folhas e acículas	Folhas, galhos	Galhos	Galhos e troncos

Devido às quatro polarizações (HH, VV, HV e VH) da banda L do sensor SAR das aeronaves R-99B, a diferenciação entre tipos florestais, espécies arbóreas e áreas florestadas e não-florestadas é facilitada. Estudos desenvolvidos por Santos (2002), em áreas de florestas tropicais, indicam a superioridade da banda L para a diferenciação entre tipos florestais e diferentes coberturas da terra. Segundo Luckman *et al.* (1997) e Saatchi *et al.* (1997) as polarizações cruzadas (HV ou VH) são indicadas para a diferenciação entre floresta madura e em regeneração. Dados de polarização horizontal favorecem a discriminação entre áreas

desmatadas com troncos remanescentes e a floresta subjacente, uma vez que as microondas interagem com os troncos no chão (Rignot *et al.* 1997, citado por Kuplich (2003)).

2. Materiais e Métodos

2.1 Materiais

Os materiais utilizados para a realização desta pesquisa consistem em imagens SAR/R-99B, imagens Landsat TM5 e Mapa de Vegetação e Limites Municipais do IBGE.

2.1.1 Imagens R99/SAR

Foram utilizadas imagens obtidas pelo sensor de Radar de Abertura Sintética (SAR) das R-99B, adquiridas entre março e outubro de 2008, no modo Quad L, com 6 m de resolução espacial, quantização de 8 bits e 8 *looks*.

2.1.2 Imagens LandSat-5/TM

Imagens LandSat-5/TM, quando necessário, foram utilizadas para auxiliar na análise visual do desmatamento de alguns municípios.

2.1.3 Mapa de Vegetação

A base vetorial utilizada para vegetação, correspondente ao Mapa de Vegetação disponibilizada pelo IBGE via site: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/>, escala de 1:250.000.

2.1.4 Limites Municipais

Como limite municipal foi utilizado a base de dados da Malha Municipal Digital do Brasil de 2005. Trata-se de um produto cartográfico do IBGE, elaborado pela Coordenação de Cartografia, a partir do Arquivo Gráfico Municipal – AGM – composto pelas folhas topográficas na melhor escala disponível nas diversas regiões do país (<http://www.ibge.gov.br>).

2.2 Métodos

A análise do desmatamento foi realizada por município. As etapas adotadas para a análise de imagens R99/SAR encontram-se representadas nos fluxogramas das Figuras 2 e 3.

Após a geração de imagens R99/SAR, foi realizada a análise técnica de controle de qualidade, nessa etapa foram verificadas as possíveis inconsistências geradas durante a fase de aquisição ou na etapa de processamento das imagens nos casos em que a imagem apresentou resultado insatisfatório, os dados foram reprocessados. Nas situações em que houve a persistência do problema, o 2º/6º GAv foi informado para a realização de reimageamento.

A partir do resultado da análise do controle de qualidade, foi realizado o recorte das imagens utilizando os dados vetoriais de limites municipais do ano de 2005 do IBGE.

Posteriormente foi realizada a análise do desmatamento. Vale ressaltar que o número de pesquisas abordando o uso de imagens de Radar para esse tipo de análise é limitado, os poucos estudos que existem, referem-se ao uso de imagens orbitais com características técnicas distintas das imagens aerotransportadas R99/SAR.

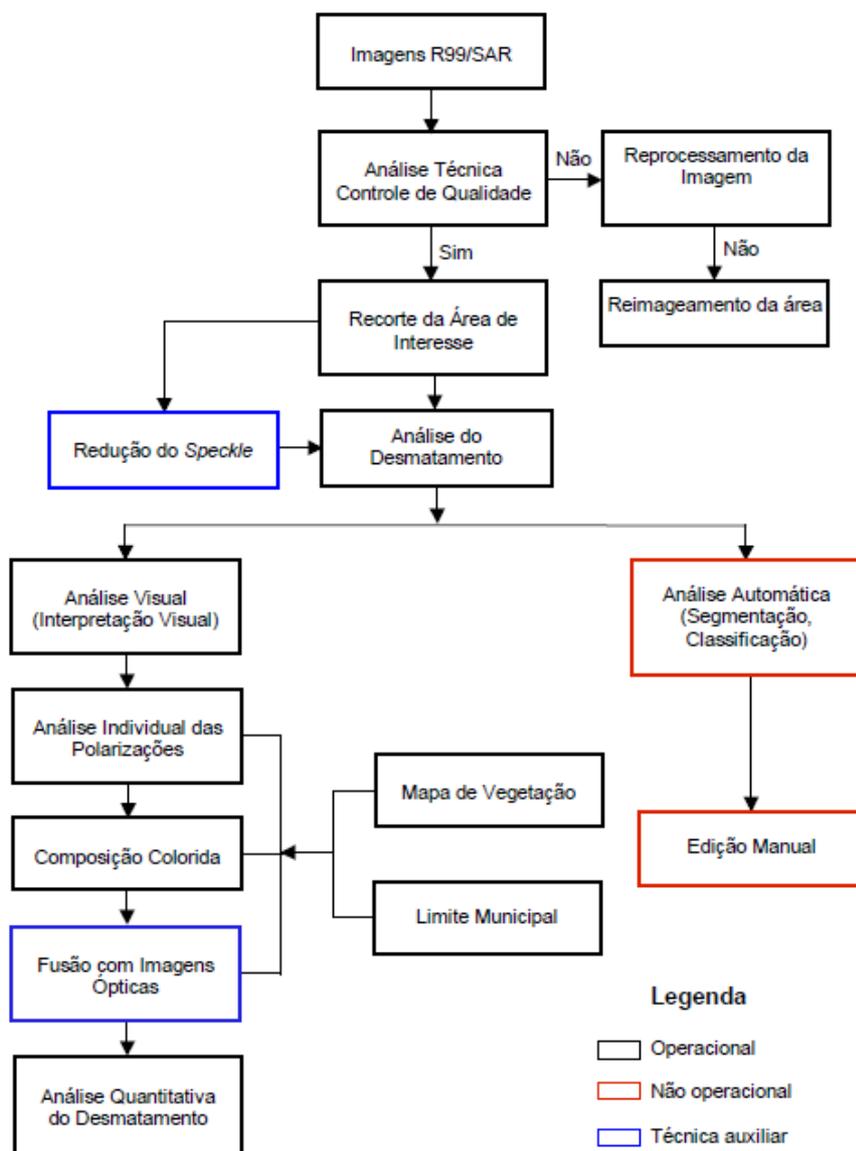


Figura 2. Fluxograma da análise do desmatamento adotado nesta pesquisa.

Para quantificar o desmatamento da região dos 36 municípios, foram aplicados dois métodos: Análise Visual e Análise Automática. A fusão das imagens R99/SAR com imagens LandSat – 5/TM e a sobreposição de dados vetoriais de vegetação e limites municipais, foram utilizados como apoio à interpretação.

2.2.1 Análise Visual

Uma imagem digital de Radar consiste em uma matriz, onde cada pixel apresenta um valor numérico proporcional à intensidade do eco que retorna à antena do Radar. Este eco é denominado retroespalhamento, e se refere à radiação que foi espalhada na direção do Radar. O retroespalhamento depende tanto dos parâmetros do Radar, como comprimento de onda, frequência, polarização e ângulo de incidência, quanto das características do alvo na superfície terrestre, tais como constante dielétrica, rugosidade e geometria. Quanto maior o eco ou retroespalhamento, mais claro são os níveis de cinza da imagem de Radar.

A análise visual de imagens aerotransportadas utiliza como base, os métodos de fotointerpretação geológica, inicialmente desenvolvidos para fotografias aéreas por Soares e Fiori (1976) e que posteriormente, possibilitam a extração de informações por meio da análise dos elementos da imagem e de suas relações (Veneziani & Anjos 1982).

Na interpretação visual foram utilizados os métodos de análise lógica (método sistemático) e comparativos (método das chaves). No método de análise lógica foram estabelecidos os seguintes critérios: (i) utilizar a análise monoscópica, análise integrada por meio de fusão com imagens LandSat – 5/TM e/ou sobreposição de dados vetoriais; (ii) definição das características de imagens R99/SAR, tais como: ângulos de incidência, azimute de iluminação, resolução espacial e polarização; (iii) interpretação do desmatamento, considerando tanto corte raso quanto floresta degradada, por meio da identificação, análise e interpretação dos diferentes tipos de texturas observadas nas imagens.

No método comparativo ou das chaves, tanto o conhecimento quanto à experiência do analista foram essenciais para a obtenção de uma análise satisfatória.

2.2.2 Análise automática

Os algoritmos utilizados para análise automática foram desenvolvidos para aplicação em imagens ópticas, não apresentando resultados satisfatórios, até o momento, para imagens SAR devido a sua maior complexidade.

A análise automática de imagens consiste em um processo de decisão, que tem como suporte principal a técnica de segmentação, que consiste na subdivisão da imagem em áreas homogêneas. O resultado da segmentação fornece dados de entrada para classificação e interpretação baseadas em polígonos, que podem ser classificados com maior acurácia do que os resultados obtidos por meio da classificação tradicional (Bènié, Thomson & Goldberg (1989), Kalluri *et al.* (2000), citado por Campos (2005)).

De acordo com Gonzáles e Woods (2000), citado por Campos (2005), os segmentos podem seguir dois tipos de categorias: (i) Descontinuidade, onde a segmentação é efetuada com base nas alterações bruscas dos níveis de cinza; (ii) Similaridade, onde os métodos baseiam-se em limiarização, crescimento de regiões, divisão e fusão de regiões.

Após a segmentação foi constatado que devido a diversidade de feições não foi possível alcançar um resultado satisfatório.

A técnica de classificação também foi aplicada nas imagens R99/SAR, porém o tempo de processamento dos dados foi muito longo, o processo de vetorização lento e na imagem resultante a quantidade de classes relacionadas a ruídos foi superior as classes de interesse.

2.2.3 Elaboração do produto final

Após a análise visual, foi aplicada a técnica de correção de padrão de antena que consiste na minimização das variações dos níveis de cinza da imagem. Posteriormente, foram gerados mosaicos e realizada a edição final por município.

Concomitantemente a essa etapa, foi realizado o controle de qualidade da análise do desmatamento. Nos casos em que se constataram incoerências, o produto retornou para os ajustes técnicos necessários. Em caso de resultado satisfatório, o produto foi consolidado e a área desmatada quantificada (Figura 3).

Todas as etapas da análise do desmatamento foram acompanhadas por meio da elaboração de relatórios técnicos semanais, entrega de um relatório técnico parcial e de um relatório técnico final.

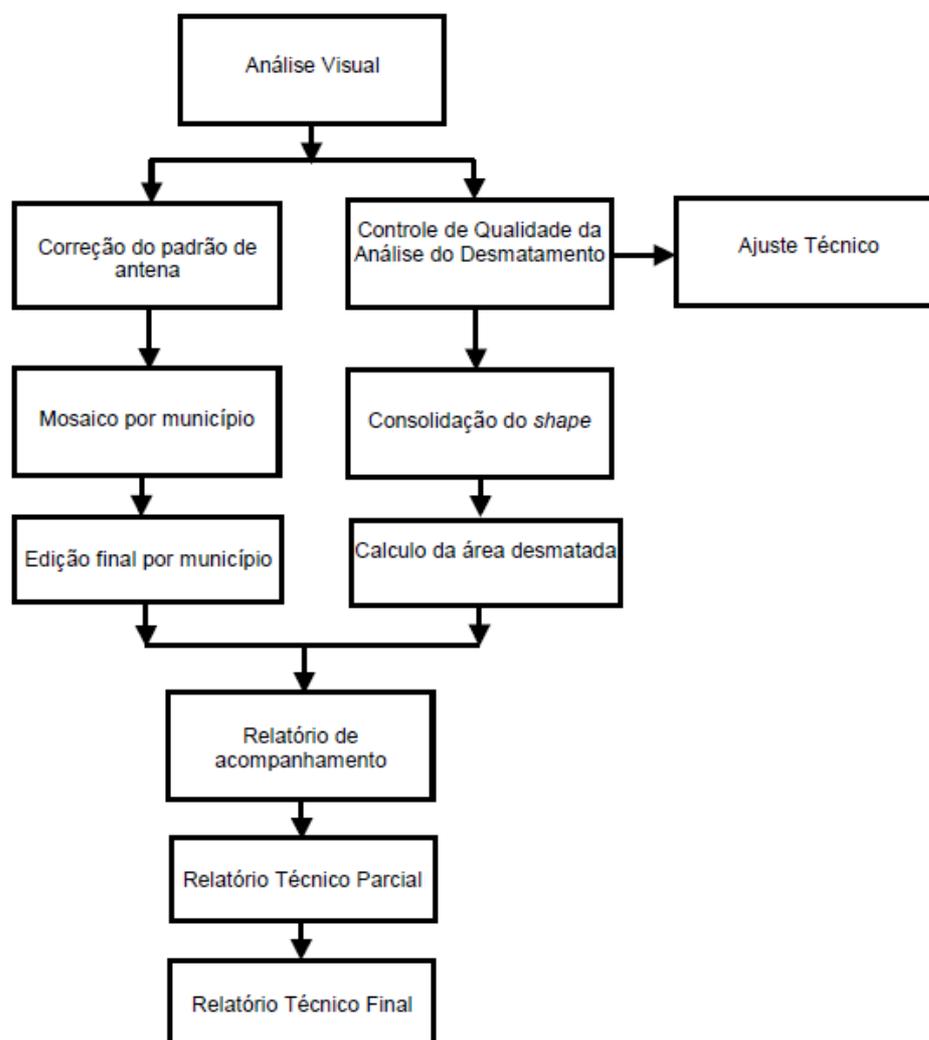


Figura 3. Fluxograma das etapas utilizadas na elaboração final do produto.

3. Resultados

Como resultado da avaliação técnica entre o método de análise visual e o automático, concluímos que a análise visual é mais eficiente e apresenta resultados com melhor qualidade. A Tabela 2 descreve os dados da análise do desmatamento dos 36 municípios prioritários constantes da Portaria nº 28/2008 do Ministério do Meio Ambiente.

A Figura 4 mostra a localização dos segmentos imageados, correspondendo a 779.705 km².

Para cada município, foi elaborado um texto explicativo sobre o quantitativo de área desmatada, os principais tipos de vegetação e uso e ocupação do solo. Maiores detalhes podem ser obtidos por meio do download do relatório final dessa pesquisa, via <http://www.sipam.gov.br/>.

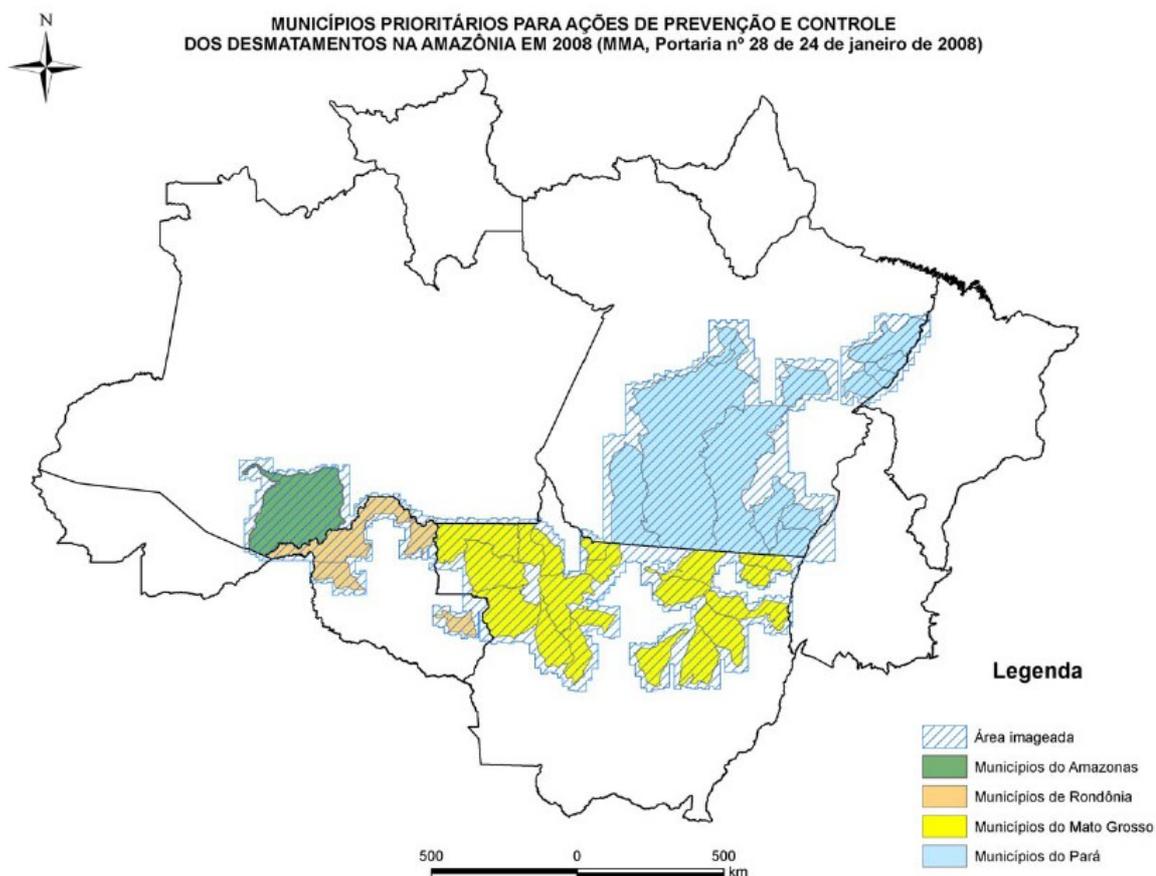


Figura 4. Mapa de localização das áreas imageadas.

Tabela 2. Resultado da análise do desmatamento dos 36 municípios.

UF	Município	Área (km ²) (IBGE)	Data de referência do imageamento	Total de segmentos	Área desmatada (km ²)	Porcentagem do desmatamento
AM	Lábrea	68.233	Maio de 2008	35	2.772,1	4,06%
MT	Alta Floresta	8.947	Junho de 2008	9	4.400,57	49,18%
MT	Aripuanã	25.049	Abril de 2008	24	3.309,1	13,21%
MT	Brasnorte	15.960	Junho de 2008	16	6.493,80	40,68%
MT	Colniza	27.952	Abril de 2008	17	3.218,72	11,51%
MT	Confresa	5.795	Março de 2008	7	3.379,04	58,3%
MT	Cotriguaçu	9.124	Abril de 2008	6	1.548,66	16,97%
MT	Gaúcha do Norte	16.899	Abril de 2008	14	4.091,10	23,78%
MT	Juara	21.387	Junho de 2008	17	7.459,67	34,88%
MT	Juína	26.251	Junho de 2008	25	3.701,09	14,10%
MT	Marcelândia	12.294	Março de 2008	11	3.094,00	25,16%
MT	Nova Bandeirantes	9.531	Abril de 2008	10	2.726,33	28,60%
MT	Nova Maringá	11.512	Junho de 2008	12	2.959,21	25,70%
MT	Nova Ubiratã	12.695	Junho de 2008	11	5.698,04	44,88%
MT	Paranaíta	4.830	Junho de 2008	5	1.872,67	38,77%
MT	Peixoto de Azevedo	14.398	Março de 2008	16	3.066,27	21,25%
MT	Porto dos Gaúchos	7.010	Junho de 2008	9	2.741,99	39,11%
MT	Querência	17.850	Abril de 2008	17	5.106,75	28,61%
MT	São Félix do Araguaia	16.848	Abril de 2008	21	4.955,35	29,41%
MT	Vila Rica	7.434	Março de 2008	11	4.142,12	55,72%
PA	Altamira	159.698	Junho de 2008	96	6.223,3	3,90%
PA	Brasil Novo	6.368	Junho de 2008	12	2.216,66	34,81%
PA	Cumarú do Norte	17.085	Junho de 2008	22	6.625,8	38,78%
PA	Dom Eliseu	5.269	Setembro de 2008	8	3.222,39	61,15%
PA	Novo Progresso	38.164	Junho de 2008	36	4.957,41	12,99%
PA	Novo Repartimento	15.399	Setembro de 2008	12	6.412,6	41,64%
PA	Paragominas	19.341	Setembro de 2008	10	6.739,1	34,84%
PA	Rondon do Pará	8.245	Outubro de 2008	8	5.047,4	61,22%
PA	Santa Maria das Barreiras	10.330	Junho de 2008	11	6.510,34	63,02%
PA	Santana do Araguaia	11.590	Junho de 2008	17	7.004,24	60,43%
PA	São Félix do Xingu	84.210	Junho de 2008	62	14.639,7	17,38%
PA	Ulianópolis	5.088	Setembro de 2008	10	3.853,90	75,74%
RO	Machadinho D'Oeste	8.509	Junho de 2008	7	2.560,20	30,09%
RO	Nova Mamorê	10.070	Abril de 2008	14	2.469,25	24,52%
RO	Pimenta Bueno	6.242	Abril de 2008	8	2.560,48	41,02%
RO	Porto Velho	34.098	Abril de 2008	24	6.962,00	20,42%

4. Conclusões

A análise realizada nesta pesquisa mostrou a importância da utilização de imagens R99/SAR, indispensáveis para uma quantificação mais precisa do desmatamento na Amazônia Legal.

Visando a continuidade e melhoria desse produto, o Censipam implementou a modernização do *hardware* ProSAR-BR, responsável pela geração das imagens R99/SAR.

A partir dos resultados obtidos, recomenda-se:

- a) Gerar este produto anualmente, permitindo o cálculo do acréscimo ou decréscimo do desflorestamento por município;
- b) Realizar integração com dados multifontes, tais como, vias de acesso, focos de calor, pista de pouso e movimento aéreo, visando à emissão de alertas;
- c) Realizar trabalhos de pesquisa aplicada visando a semi-automatização da análise do desmatamento.

5. Agradecimentos

Aos Diretores do CENSIPAM, em especial ao Gerente do Centro Regional de Manaus, Bruno da Gama Monteiro, pelo apoio incondicional para a realização deste trabalho.

A Força Aérea Brasileira, pelo profissionalismo durante o imageamento da área.

6. Citações e Referências

- Bénié, G. B., Thomsom, K. P. B., Goldberg, M. 1989. A comparison of four segmentation algorithms in the context of agricultural remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 44, n. 1, p. 1-13.
- Campos, M. A. A. 2005. Padrão e dinâmica de floresta tropical, através de classificação orientada a objeto e da análise da paisagem com imagens Landsat. Tese de doutorado. Curitiba, 105 p.
- Gonzalez, R. F., Woods, R. E. 2000. *Processamento de Imagens Digitais*, São Paulo, Edgard Blucher, 509 p.
- Le Toan, T., Picard, G., Martinez, J. M., Melon, P., Davidson, M. 2002. On the relationships between radar measurements and forest structure and biomass. *In: III International Symposium on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR data for Land Applications*. Sheffield, UK: ESA (ESA SP-475), p. 3-12.
- Leckie, D. G., Ranson, K. J. 1998. Forestry applications using imaging radar. *In: Principles and Applications of Imaging Radar*. (F. M. Henderson, and A. J. Lewis, Eds.). New York: John Wiley, p. 435-509.
- Kalluri, S. N. V. et al. 2000. High performance algorithms for land cover dynamics using remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 21, n. 6, p. 1513-1536.
- Kuplich, T. M. 2003. Estudos florestais com imagens de Radar. *Espaço & Geografia*, v. 6, n. 1, 65-90, ISSN: 1516-9375, p. 71-96.
- Santos, J. R., Lacruz, M. S. P., Araújo, L. S. 2002. Savanna and tropical rainforest biomass estimation using JERS-1 data. *International Journal of Remote Sensing*. n. 23, p.1217-1229.
- Luckman, A., Baker, J., Kuplich, T. M., Yanasse, C. C. F., Frery, A. 1997. A study of the relationship between radar backscatter and regenerating tropical forest biomass for spaceborne SAR instruments. *Remote Sensing of Environment*. n. 60, p.1-13.
- 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*. n. 59, p.191-202.
- Soares, P.C., Fiori, A.P. 1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Noticiário Geomorfológico*, v.16, n.32, p. 71-104.
- Rignot, E., Salas, W. A., Skole, D. L. 1997. Mapping deforestation and secondary growth in Rondonia, Brazil, using imaging radar and Thematic Mapper data. *Remote Sensing of Environment*. n. 59, p.167-179.
- Veneziani, P., Anjos, C.E. 1982. Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia. São José dos Campos: (INPE-2227-MD/014). 61p.