

ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS SAR, BANDAS X E P, PARA O MAPEAMENTO DAS UNIDADES DE RELEVO E USO E COBERTURA DO SOLO NUMA SEÇÃO DA FLORESTA NACIONAL DE TAPAJÓS (FLONA), ESTADO DO PARÁ

HERMANN JOHANN HEINRICH KUX¹
EDUARDO DA SILVA PINHEIRO¹

¹INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{hermann, eduardo}@ltid.inpe.br

Abstract. The objective of this work is to present the results of the evaluation of airborne SAR data (X and P band), in the Tapajós National Forest, Brazilian Amazon, Pará State. In the area under study, the relief patterns are more detailed, as well as the texture, tones and drainage patterns which can be obtained from SAR images. Both X (HH polarization) and P band (HH, VV, HV and VH polarized) data were used, spatial resolution was of 2,5 x 2,5 m and radiometric resolution of 2,4 dB. Landsat-5 data was used as additional material. A band ratio was applied among bands X and P to obtain an enhancement of spectral differences. A color composite was obtained, including the X/P ratio in the red channel, X band in the green and P band in the blue channel. This composite helped the visual interpretation of images. Using the TM-Landsat image, a composite RGB 543 was done. Afterwards the transformation of RGB image was done to IHS, followed by the inversion, i.e. IHS to RGB, changing I for radar images. The result was a geomorphologic map, with the main relief units and a vegetation/land use map.

Keywords: Remote sensing, SAR X and P band, Amazon, Land use/Land cover, Geomorphology.

1. Introdução

Este estudo constitui-se de uma análise preliminar de dados SAR, nas bandas X (comprimento de onda aprox. de 3 cm) e P (comprimento de onda aprox. 72 cm) obtidos durante uma campanha de imageamento com o sistema SAR da empresa *Aerosensing Radarsysteme GmbH*, da Alemanha, em parceria com as seguintes instituições brasileiras: INPE, Ministério do Exército (DSG e 8° BEC), IBAMA/MMA e SUDAM. Maiores detalhes sobre esta campanha encontram-se em Dutra et al. 2002.

O objetivo deste estudo é analisar a aplicação de imagens do SAR interferométrico AES-3, nas bandas X e P, para mapear a geomorfologia e uso e cobertura do solo, numa seção da Floresta Nacional de Tapajós (FLONA), compreendida entre as coordenadas geográficas ϕ 03° 04' 00" a 03° 11' 00" S e λ 54° 54' 00" a 55° 06' 00" W. A rodovia Cuiabá-Santarém (BR-167) atravessa, em direção N-S, a área em estudo (**Figura 1**).



Figura 1 - Localização da área de estudo

Na região da FLONA de Tapajós foram executados diferentes estudos de uso do solo, biomassa florestal e de modelagem do relevo (DEM) com dados SAR, destacando-se Freitas *et al.* (2001), Mura *et al.* (2001), Santos *et al.* (2001) e Dutra *et al.* (2002).

2. Aspectos Geográficos

De acordo com o IBGE (1976) a área em estudo está constituída geologicamente pela Formação Barreiras, de idade Cenozóica. Constitui-se essencialmente de sedimentos de origem continental, como arenitos e argilitos e secundariamente conglomerados. O relevo se caracteriza por duas unidades morfo-estruturais principais, a saber: Planalto Rebaixado da Amazônia e Planalto Tapajós-Xingú.

O Planalto Rebaixado da Amazônia se encontra essencialmente sobre litologias da Formação Barreiras, perfazendo uma área conhecida regionalmente como “Terras Firmes”. O relevo desta área apresenta formas tabulares, geralmente dissecado com aprofundamento dos *talwegs* fortemente drenados, localizados na Planície Amazônica e no Planalto Tapajós-Xingú, próximo ao rio Tapajós (IBGE, 1976). Não obstante, neste estudo enfatizam-se principalmente os padrões de relevo, formas, textura, tonalidade, sombras de alvos, além dos padrões de drenagem e contexto.

O tipo climático da região, de acordo com a classificação de Köppen, é *Amw* que se caracteriza por chuvas em dois períodos hídricos muito bem definidos, temperaturas elevadas e baixa variação de precipitações anuais (1750 a 2000 mm). As maiores precipitações ocorrem no período Dezembro-Junho, com máximas em Março e Abril. Os valores médios de umidade relativa do ar variam entre 85 e 90%, acompanhando o regime das chuvas, com valores máximos em Fevereiro.

No que se refere à vegetação, nesta área, ocorrem Florestas Densas de Terras Baixas e Submontanas, que recobrem os baixos planaltos e relevos dissecados e aplainados. Este tipo de floresta apresenta um grande número de indivíduos emergentes, com manchas de Floresta Densa e Floresta Aberta com Palmeiras (IBGE, 1976). Ocorrem ainda manchas de vegetação secundária em várias fases de desenvolvimento, desde o inicial (porte arbustivo) até o avançado (porte arbóreo), originado de desmatamento para agricultura e pecuária.

3. Materiais Utilizados

Neste trabalho foram utilizadas imagens do SAR aerotransportado AES-3 nas bandas X e P. A banda X possui polarização HH, resolução espacial de 2,5 x 2,5 m e resolução radiométrica de 2,4 dB. A imagem na banda P foi obtida por técnicas de principais componentes com 4 polarizações: HH, VV, HV e VH, sendo que a imagem original apresenta resolução espacial de 2,5 x 2,5 m e radiométrica de 1,4dB. Foi ainda utilizada uma imagem TM/Landsat-5 órbita/ponto 227/63 de Agosto 2000, bem como cartas topográficas elaboradas pelo INPE e DSG do Exército, como materiais auxiliares à interpretação. Os aplicativos usados para análise dos dados foram: ENVI 3.4 e SPRING - *Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas*, este último desenvolvido pelo INPE.

4. Metodologia

O mapeamento da área de estudo foi executado mediante interpretação visual das imagens SAR, apoiadas por imagem do TM/Landsat-5. Aplicaram-se algumas transformações nestas imagens, como: equalização de níveis de cinza, razão entre bandas e fusão de imagens através de técnicas IHS (Intensidade/Matiz/Saturação). Estas transformações permitiram realçar um número maior de alvos na imagem. As imagens SAR usadas neste estudo foram

anteriormente, pré-processadas e registradas num sistema de referencia cartográfico (Projeção UTM, Datum: SAD/69).

A equalização de níveis de cinza entre bandas foi aplicada para igualar a média (brilho) e variância (contraste) das bandas X e P. Para tanto foram ajustados o Ganho e o Offset da banda X conforme a banda P.

A razão entre as bandas X e P foi aplicada para realçar as diferenças espectrais entre estas bandas. Foi gerada uma composição colorida falsa-cor composta pela razão entre as bandas X e P no canal vermelho, a banda X no canal verde e a banda P no canal azul (RX/P GX BP), sendo que esta composição permitiu a otimização da interpretação visual.

Dois documentos cartográficos foram confeccionados através dos dados analisados: um mapa geomorfológico com as grandes unidades do relevo e um mapa com o uso e cobertura do solo. A base do mapa geomorfológico foi o mapeamento do PROJETO RADAMBRASIL (IBGE, 1976), sendo a representação do relevo refinada, definindo-se as seguintes unidades:

- Relevo plano ondulado, baixo grau de erosão. Esta unidade aparece na imagem com formas suaves, ocupando um amplo espaço. O grau de erosão está associado ao número de cursos d'água, que nesta área apresentam baixa densidade;
- Relevo abrupto, com escarpa erosiva e elevado grau de erosão. O elevado grau de erosão está associado ao grande número de cursos d'água nesta área e à textura fina da imagem;
- Área plana com acumulação de sedimentos e morros isolados;
- Relevo aplainado, suavemente ondulado, colinas aplainadas, erosão mediana.

O uso e a cobertura do solo foram mapeados considerando os aspectos do relevo. Para tanto, foi adotado o método utilizado por Shimabukuro *et al.* (1998), onde os autores associaram os sub-domínios florestais às unidades de relevo. Neste trabalho não foram consideradas as unidades vegetais individualmente. As classes mapeadas foram: **Floresta Densa sobre relevo plano, Floresta Densa sobre topos de morros, Floresta Densa sobre vertente dissecada, Floresta Aberta sobre relevo plano, Floresta Aberta sobre relevo dissecado, Pastagens, Solo nu, Regeneração, Mata galeria.**

As imagens do TM/Landsat-5 foram fundidas com as imagens SAR por meio de técnicas IHS, para analisar e avaliar as informações texturais em conjunto com as informações espectrais. Para realizar esta fusão foi necessário reamostrar as imagens SAR de 2,5 m para 25 m, conforme as imagens TM. Em consequência desta degradação ocorreu perda nas informações relacionadas à resolução espacial. Ao diminuir-se a resolução das duas imagens SAR, tinha-se a impressão visual de que as imagens teriam melhorado, com o desaparecimento do ruído. No entanto, foram perdidos muitos detalhes, como se observa na **Figura 2.**

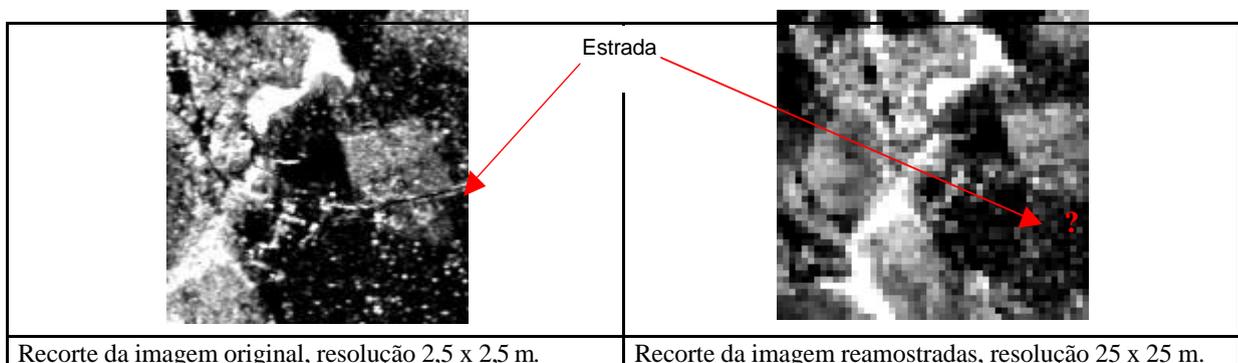


Figura 2 - Recorte das imagens SAR original e reamostrada.

Apesar dos Matizes maiores terem sido preservados, outros menores como rodovias praticamente desapareceram, o que dificultou a sua detecção. A seguir foi feita uma

composição colorida RGB 543, seguida pela transformação do espaço de cores da imagem RGB para IHS. Posteriormente realizou-se uma inversão, ou seja, aplicou-se a transformação $IHS \Rightarrow RGB$, trocando-se a componente I pelas imagens radar. Os resultados estão apresentados nas **Figuras 3 e 4** abaixo. Apesar das fusões adicionarem informações às imagens TM/Landsat-5, para as imagens SAR o incremento foi mínimo, quando comparado com outros processamentos, como observado mais adiante. Finalmente optou-se pela utilização da composição TM 543 original (**Figura 5**) somente para auxiliar na interpretação e como fonte de consulta, para a classificação visual das imagens SAR.

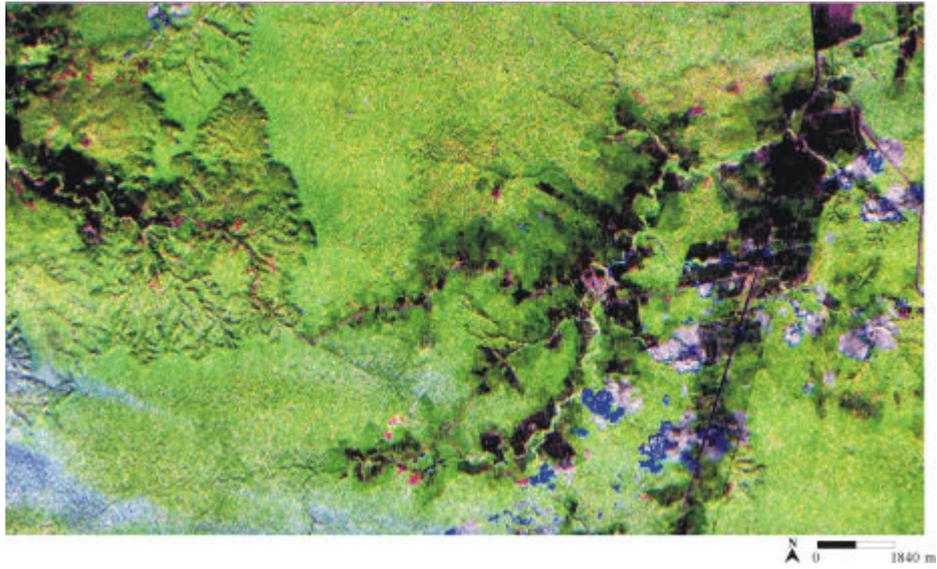


Figura 3 - Fusão IHS da composição colorida RGB 543 com a imagem da banda P

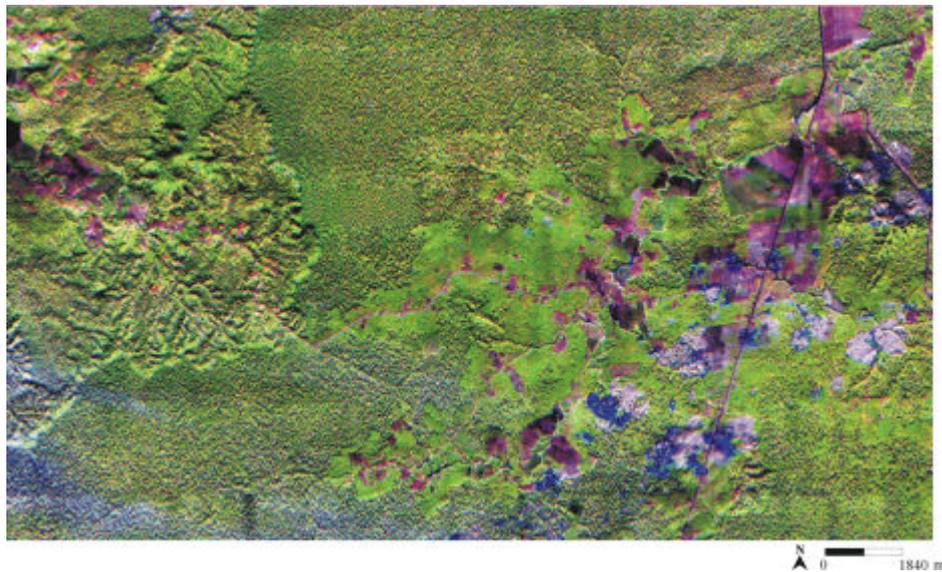


Figura 4 - Fusão IHS da composição RGB 543 com a imagem em banda X

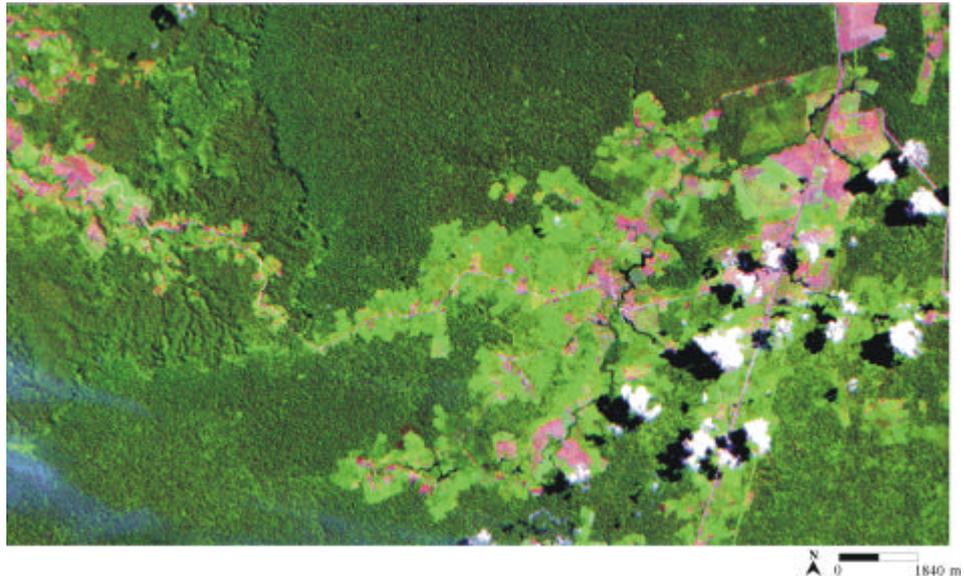


Figura 5 - Composição colorida RGB 543 do TM-Landsat 5

5. Resultados e Discussão

As fusões realizadas entre os dados das bandas de radar e do sensor óptico apresentaram resultados satisfatórios, entretanto a resolução espacial ficou degradada (**Figura 2**). Assim sendo, optou-se pelo trabalho com as imagens SAR sem fusões e com uma composição falsa cor obtida através dos dados SAR (**Figura 6**). As imagens de fusão serviram tão-somente como complemento ao trabalho.

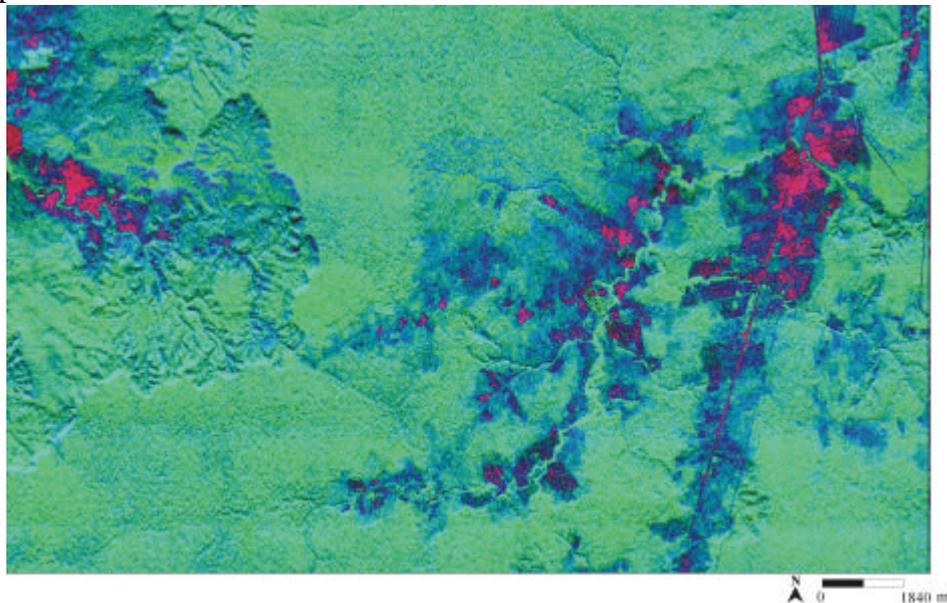


Figura 6 - Composição falsa-cor RX/P GX BP

A informação obtida inicialmente das imagens foi a hidrografia, usando principalmente a banda P que representa bem o relevo. A composição falsa cor também permitiu obter informações sobre a hidrografia. A **Figura 7** mostra o padrão de textura na banda P e na composição falsa cor, que permitem visualizar melhor as formas de relevo e extrair a drenagem. Na banda X a interpretação é relativamente mais difícil, porque o retroespalhamento ocorre praticamente só nos dosséis de vegetação e as formas de relevo são menos nítidas em comparação com aquelas observáveis na banda P.

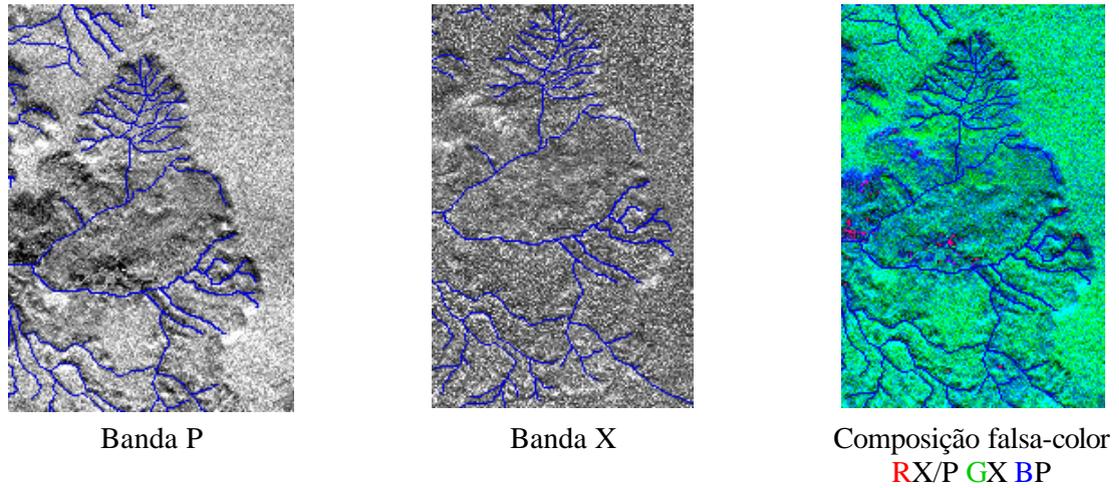


Figura 7 - Recorte de imagens usadas para aquisição de dados

A geomorfologia da área foi obtida com a interpretação de imagens, a partir de informações de textura, forma, sombra e tonalidade. Neste sentido, foram delimitadas quatro grandes unidades de relevo, associadas ao grau de erosão, a forma e o contexto. Após o estabelecimento de padrões de relevo, foi analisado o uso e a cobertura do solo, associando-se a vegetação ao relevo. Foram analisadas mais detalhadamente as áreas de solo exposto e áreas de regeneração florestal. As **Figuras 8 e 9** apresentam os resultados obtidos.

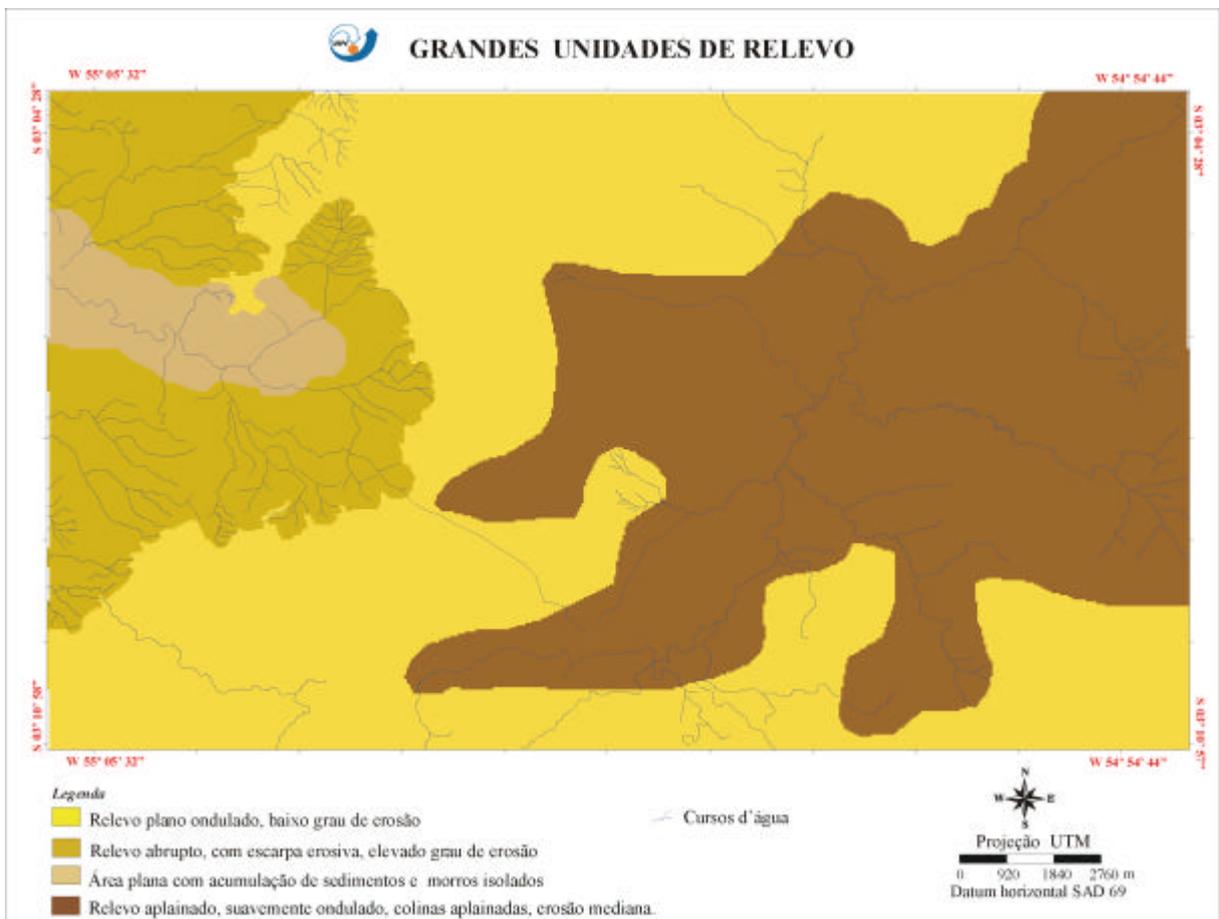


Figura 8 – Grandes Unidades de Relevo

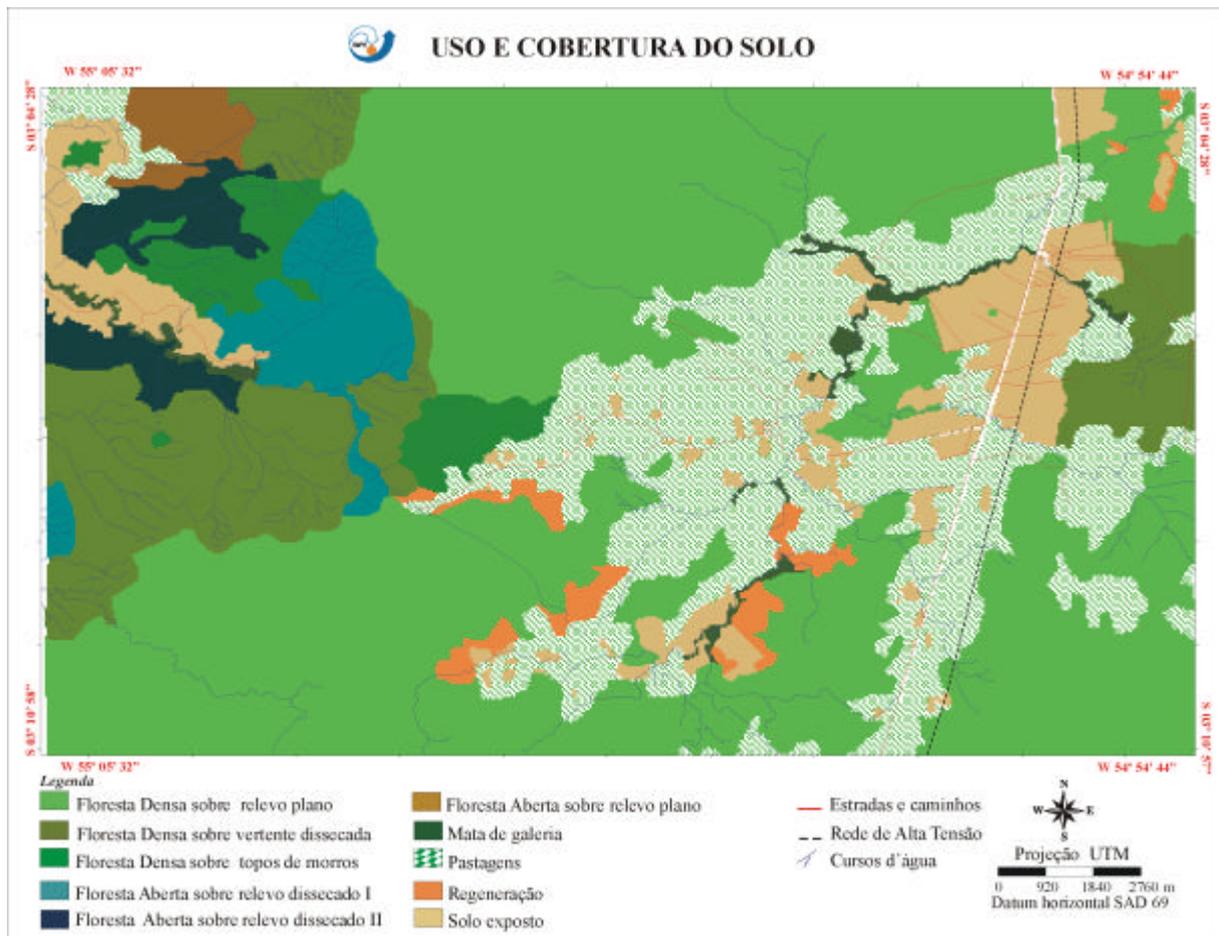


Figura 9 – Uso e Cobertura do Solo.

6. Conclusões

As imagens do SAR aerotransportado AES-3 representam uma importante ferramenta para se obter dados para o mapeamento e monitoramento de áreas com florestas tropicais como a FLONA de Tapajós. A possibilidade de trabalhar com diferentes bandas de SAR (X e P), permitiu otimizar a análise da área de estudo.

Os padrões de textura de cada banda são bem distintos e permitem uma boa comparação entre as feições de relevo e o uso/cobertura do solo. A interpretação visual de dados permitiu um rendimento maior através da composição falsa-cor, usando as imagens SAR. As formas de relevo, a hidrografia e as diferenças entre coberturas vegetais ficaram mais evidentes na composição colorida.

Os testes de fusão das imagens do TM/Landsat-5 com as imagens SAR foram aceitáveis para um mapeamento preliminar. Não obstante, neste estudo optou-se pelo uso exclusivo de imagens SAR sem fusão com imagens do TM. Isto porque, quando as imagens eram reamostradas para a fusão com o TM, tornou-se difícil identificar os matizes menores no terreno como, por exemplo, as rodovias.

Finalmente, recomendamos a realização de outros testes com alguns dos novos algoritmos de classificação digital de imagens, conhecidos como classificadores orientados a objeto. Estes classificadores consideram importantes parâmetros como textura e forma dos alvos, daí o seu interesse para mapeamento temático com SAR. A ajuda de imagens de sensores ópticos é essencial para resolver eventuais dúvidas de interpretação com os dados de

SAR. A alta resolução do sistema AES-3 pode ser utilizada em muitos trabalhos de identificação de objetos, especialmente em regiões onde as condições meteorológicas não são favoráveis para a obtenção de dados de sistemas de sensores ópticos. As imagens SAR demonstraram ser muito úteis para o mapeamento de objetos (alvos) como pequenas seções de solo nu, provavelmente áreas desmatadas.

7. Referências Bibliográficas

Dutra, L.V., Elmiro, M.T., Filho, B.S.S., Mura, J.C., Santos, J.R., Freitas, C.C., Araújo, L.S., Albuquerque, P.C.G., Vieira, P.R. and Gama, F.F. 2002 Assessment of Digital Elevation Models obtained in Brazilian Amazon based on P and X band Airborne Interferometric Data. In: Proceedings of *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, June 24-28th 2002, Toronto/Canada. [CD-ROM].

Freitas, C.C.; Sant'Anna, S.J.S.; Soler, L.S.; Santos, J.R.; Dutra, L. V.; Araújo, L. S.; Mura, J. C.; Hernandez Filho, P. (2001) The use of airborne P-band radar data for land use and land cover mapping in Brazilian Amazonia. Proceedings of the IGARSS'01 Symposium. Sydney, Australia, July 9-13th, 2001. [CD-ROM]

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. [Projeto RADAMBRASIL]. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 1976, VI. 23

Mura, J. C.; Bins, L. S.; Gama, F.F.; Freitas, C.C.; Santos, J.R.; Dutra, L. V. (2001). Identification of the tropical Forest in Brazilian Amazon based on the DEM difference from P and X interferometric data. In: *International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS'01*. Sydney, Australia. July 9-13th, 2001. [CD-ROM].

Santos, J.R.; Freitas, C.C.; Araujo, L.S.; Dutra, L.V.; Mura, J.C.; Gama, F. F.; Soler, L. S.; Sant'Anna, S.J.S. (in press). Airborne P-band SAR applied to the above ground biomass studies in the Brazilian tropical rainforest. *Remote Sensing of Environment*. Special Issue of LBA ([paper accepted for publication](#)).

Shimabukuro, Y. E.; Amaral, S.; Ahern, F. J.; Pietsch, R. W. 1998. Land Cover Classification from RADARSAT Data of the Tapajós National Forest, Brasil. *Canadian Journal of Remote Sensing* v. 24, n 4, p 393-401.

Nota de agradecimento:

Os autores agradecem pelo suporte financeiro do MCT (Ministério de Ciência e Tecnologia), Programa Ciência e Tecnologia para Estudos Ambientais. Agradecem também ao 8º BEC (Exército), IBAMA/MMA e SUDAM pelo apoio logístico. Este estudo é um resultado parcial do Projeto LBA LC-11 e da Cooperação Científica entre o INPE e a DSG (Diretoria do Serviço Geográfico) do Exército de Brasileiro.