

**CLASSIFICAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL UTILIZANDO DADOS
DO SAR AEROTRANSPORTADO E DO TM/LANDSAT:
REGIÃO DA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS***

Pedro Hernández Filho**
David Chung Liang Lee**
Yosio Edemir Shimabukuro**

Resumo

Com o objetivo de avaliar dados do radar de abertura sintética (SAR) para a identificação da cobertura vegetal, foram analisadas visualmente as imagens da missão aerotransportada denominada SAREX (South American Radar Experiment), obtidas em abril de 1992 na região da Floresta Nacional do Tapajós. Atividades agropecuárias e áreas de colonização são as formas de ocupação do território nesta região. Foram utilizadas as imagens da banda C da banda larga com polarização HH em papel, na escala 1:1 000 000. Como dados auxiliares foram analisadas as imagens do satélite Landsat, composição colorida, das passagens de junho de 1992 e agosto de 1988. Neste trabalho, foram considerados os elementos de análise visual de imagens, como a textura, a tonalidade, a forma, e a sombra, além de informações contextuais. A avaliação dos resultados foi feita através da comparação com mapas de vegetação existentes e também com observações obtidas no trabalho de campo. Foram mapeadas três classes de floresta, duas de regeneração, uma de pastagem e uma de solo exposto.

Abstract

With the objective of evaluating the synthetic aperture radar (SAR) data for identifying the vegetation cover, the images from SAREX (South American Radar Experiment) mission acquired in April 1992 over Tapajós National Forest region were visually analyzed. Agricultural and cattle raising activities and colonization are the ways of land occupation in this region. The C-band of wide swath mode images, with HH polarization in a hard copy format, in the 1:100 000 scale, were utilized. The color composites of Landsat TM images, acquired in August 1988 and June 1992, were analyzed as the auxiliary data. The image visual analysis elements such as texture, tone, form, shadow, and contextual information were considered in this work. Evaluation of the results was done by comparison with vegetation maps available and also with observations obtained in the field work. Three forest classes, two regrowth classes, one pastureland class and one baresoil class were mapped.

1. Introdução

Sistemas sensores que atuam na faixa do microondas foram concebidos para operarem em aeronaves e mais recentemente em sistemas orbitais (ERS, JERS, RADARSAT, etc.) para o levantamento dos recursos naturais. A energia nessa região pode penetrar nuvens e até uma certa intensidade de chuvas. Portanto, esses sensores conhecidos como radar permitem, na

* Recibido: 1 de marzo de 1996.

** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Caixa Postal 515, 12201-970-São José dos Campos, P, Brasil.

maioria da vezes, obter dado da superfície terrestre sob estas condições desfavoráveis à aquisição de imagens.

Desta forma, áreas ocupadas por florestas tropicais, as quais apresentam cobertura de nuvem, a maior parte do ano, serão as grandes beneficiárias no uso destes sistemas sensores. O programa RADARSAT, concebido pelo governo canadense, vem sendo desenvolvido para obter dados da superfície do terreno a partir de dados SAR, na banda C da região do microondas, polarização HH e 7 diferentes modos de imageamento ("scansar wide", "scansar narrow", "extended low", "extended high", "wide", "standard" and "fine"). A missão SAREX'92 foi realizada em alguns países da América do Sul, inclusive no Brasil, como preparação para o lançamento do RADARSAT, visando avaliar as potencialidades de dados SAR em florestas tropicais. O objetivo do trabalho é avaliar os dados da imagem da banda C, polarização HH, adquiridas na área teste denominada Tapajós, localizada no estado do Pará, Brasil. Além disso, foi feita uma comparação com dados obtidos por sensores óticos (TM/LANDSAT).

2. Dados SAREX

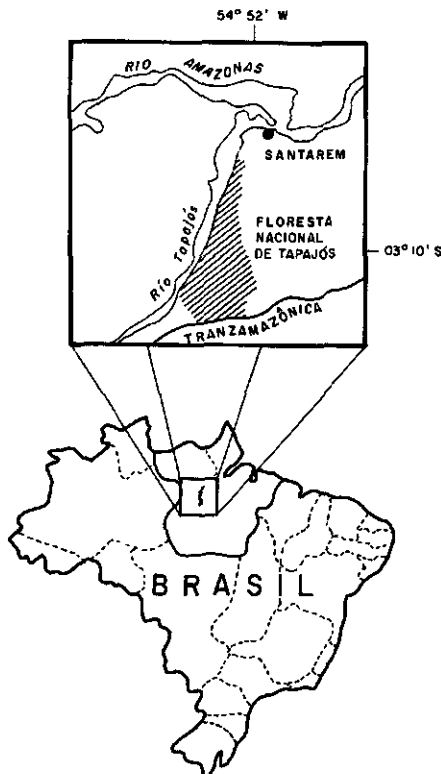
As imagens da área de estudo Tapajós foram adquiridos em 16 de abril de 1992, por um sistema SAR a bordo do Convair 580 desenvolvido pelo Centro Canadense de Sensoriamento Remoto (CCRS) (Shimabukuro *et al.*, 1993, e Hernández Filho *et al.*, 1994). Durante a missão SAREX no Brasil, a aeronave operou de uma altitude de aproximadamente 6 km, usando única frequência (banda-C), duas polarizações (HH e VV) e três diferentes modos de imageamento: a) modo Nadir - 20 km de largura de banda (ângulo de incidência variando de 20 a 74°) com 6 x 6 m de resolução, cobrindo 56 km de comprimento; b) modo de banda estreita - 18 km de largura de banda (ângulo de incidência variando de 45 a 76°) com 6 x 6 m de resolução, tendo a primeira e segunda área deste modo 60 km e 172 km de comprimento, respectivamente; c) modo de banda larga - 60 km de largura de banda (ângulo de incidência de 45 a 85°) com 10 a 20 m de resolução, cobrindo 238 km de comprimento. Os dados utilizados neste trabalho correspondem aqueles obtidos pela banda larga, polarização HH cuja geometria de operação para aquisição destes dados é observada na figura 1.



Figura 1. Geometria de aquisição do modo banda larga.

3. Área em estudo

A área de estudo, incluindo a Floresta Nacional do Tapajós, localiza-se no município de Santarém, Estado do Pará e é administrada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Situa-se entre os paralelos de $2^{\circ}40'$ a $4^{\circ}10'$ de latitude sul e os meridianos de $54^{\circ}45'$ e $55^{\circ}00'$ de longitude oeste. Esta área limita-se, ao norte, com a linha que liga o quilômetro 50 da Rodovia Santarém-Cuiabá e o ponto de latitude $20^{\circ}45'$ S no Rio Tapajós; a leste, com a Rodovia Santarém-Cuiabá (BR 167), até o quilômetro 205, próximo do município de Rurópolis. Ao sul, com os rios Santa Cruz e Cupari, descendo, rumo ao norte, até desaguar no rio Tapajós; e a oeste, com o rio Tapajós (figura 2). Esta região apresenta dois ecossistemas formados pela floresta tropical densa. O primeiro ocorre em terrenos baixos com pequena variação de declives e o segundo apresenta um relevo bastante movimentado. A geomorfologia é caracterizado por apresentar na parte sul e sudoeste, dissecação com ravinas e vales encaixados. Na parte norte e nordeste apresenta extensas superfícies de formação tabular com baixa declividade.



Dados da banda C, modo banda larga, polarização HH, ampliados na escala 1:100 000 foram analisados visualmente. De acordo com Hernández Filho (1988), foram definidos critérios de análise visual de imagens para unidades de vegetação, os quais foram empregados neste trabalho. Assim, foram caracterizadas as seguintes classes de uso da terra e de vegetação:

- 1) F1: Floresta Ombrófila Densa, em relevo plano a suave ondulado;
- 2) F2: Floresta Ombrófila Densa, em relevo pouco dissecado;
- 3) F3: Floresta Ombrófila Densa, em relevo muito dissecado;
- 4) R1: Regeneração nova da floresta;
- 5) R2: Regeneração antiga da floresta;
- 6) Pastagem, e
- 7) SE: Solo exposto.

A geometria de aquisição dos dados SAR, modo banda larga proporciona o aparecimento de sombras, em face às diferenças topográficas. Desta forma, quanto mais rugoso for o terreno maior a quantidade de sombra presente. Da mesma forma, a existência de diferença topográfica na região de fronteira entre os alvos, tem como consequência o aparecimento de sombras. Dessa forma, a avaliação das classes do terreno, considerando a presença de sombra, tanto no alvo como na região de fronteira, obedeceu os seguintes critérios.

1) Quando a avaliação da presença de sombra é feita no alvo; a) alta (**): quando a frequência de sombra provocada pela rugosidade do terreno é considerada alta; b) média (**): quando a frequência de sombra provocada pela rugosidade do terreno é considerada média; e c) pequena (*): quando a frequência de sombra provocada pela rugosidade do terreno é considerada pequena.

2) Quando a presença da sombra é observada na região de fronteira entre os alvos; a) pequena (*): quando a presença da sombra na região de fronteira entre os alvos no terreno é considerada pequena; b) média (**): quando a presença da sombra na região de fronteira entre os alvos no terreno é considerada intermediária, e c) alta (**): quando a presença da sombra na região de fronteira entre os alvos no terreno é considerada alta.

Hernández Filho *et al.* (1994) utilizaram um modo de avaliar a separabilidade entre as classes de vegetação, o qual foi aplicado neste trabalho, tanto para os dados SAREX como para as imagens TM/LANDSAT, obedecendo os seguintes critérios: 1) excelente (****): o alvo apresenta um contraste muito grande em relação aos demais objetos, podendo ser facilmente visualizado na imagem; 2) bom (***): o alvo apresenta um contraste inferior em relação à qualificação anterior, porém podendo ser visualizado na imagem; 3) regular (**): o alvo não apresenta um contraste muito grande na imagem: o seu limite, em relação aos demais alvos, não é muito nítido porém ainda é visualizado na imagem; 4) ruim (*): o alvo apresenta um contraste pequeno em relação aos demais objetos, sendo difícil a sua

separabilidade em relação aos demais alvos; 5) indiscriminado (-): o alvo não apresenta separabilidade em relação aos demais alvos.

Considerando as 7 classes, combinadas 2 a 2, resulta um total de 21 combinações. Se todas as combinações fossem avaliadas poderia-se obter a seguinte situação:

1) excelente (**** = 4*): 21 combinações de classes, vezes 4* é igual a 84* (100% de separabilidade); 2) bom (*** = 3*): 21 combinações de classes, vezes 3* é igual a 63* (75% de separabilidade); 3) regular (** = 2*): 21 combinações de classes, vezes 2* é igual a 42* (50% de separabilidade); 4) ruim (* = 1*): 21 combinações de classes, vezes 1* é igual a 21* (25% de separabilidade); 5) indiscriminado (-): 21 combinações de classes indiscriminadas é igual a 0 (0% de separabilidade).

5. Resultados

Considerando a frequência de sombra nas classes, observa-se que somente as classes florestais (F1, F2 e F3) puderam ser avaliadas. Dessa forma, as classes obtiveram a seguinte avaliação:

1) F1: frequência de sombra - baixa, 2) F2: frequência de sombra - média, 3) F3: frequência de sombra - alta

A **tabela 1** apresenta a avaliação da projeção da sombra de uma classe na outra, utilizando imagens da banda C/SAREX. A primeira coluna e segunda linha mostram de forma ordenada as classes de mapeamento. Os valores de avaliação de sombra na região de fronteira das classes são mostrados da 2a até a 10a coluna. Observa-se que as sombras são mais altas nas regiões de fronteiras das classes florestais (F1, F2 e F3) para as classes P, SE e R1. Por outro lado, nota-se que a região de fronteira entre as classes florestais (F1, F2 e F3) da classe de regeneração (R2) é baixa.

Tabela 1. Avaliação da presença de sombra nas classes causada pela geometria de aquisição dos dados - banda C/SAREX

| Banda C/SEREX-POLARIZAÇÃO HH | | | | | | | |
|------------------------------|----|----|-----|-----|----|-----|-----|
| CLASSE | F1 | F2 | F3 | R1 | R2 | P | SE |
| F1 | | * | *** | *** | * | *** | *** |
| F2 | | | ** | *** | * | *** | *** |
| F3 | | | | *** | * | *** | *** |
| R1 | | | | | ** | * | * |
| R2 | | | | | | ** | ** |
| P | | | | | | | * |
| SE | | | | | | | |

A **tabela 2** apresenta o desempenho de separabilidade visual entre as classes utilizando imagens da banda C/SAREX. A primeira coluna e segunda linha mostram de forma

desempenhos considerados péssimo (*). Nota-se que a separabilidade das classes P e SE da classe R1 também é péssimo (*). A separabilidade das classes R2 (Regeneração Antiga) das classes F1, F2 e F3, é considerada péssima (*). Desta forma, nota-se que as áreas ocupadas por floresta natural são pouco discriminadas das áreas revestidas por regeneração antiga. Verifica-se que a separabilidade da classe R2 das classes R1, P e SE é regular (**).

Tabela 2. Desempenho de separabilidade visual entre as classes - banca C/SAREX

| Banda C/SEREX | | | | | | | |
|---------------|----|-----|------|----|----|-----|-----|
| CLASSE | F1 | F2 | F3 | R1 | R2 | P | SE |
| F1 | | *** | **** | ** | * | *** | *** |
| F2 | | | *** | ** | * | ** | ** |
| F3 | | | | * | * | ** | ** |
| R1 | | | | | ** | * | * |
| R2 | | | | | | ** | ** |
| P | | | | | | | * |
| SE | | | | | | | |

A **tabela 3** apresenta a desempenho de separabilidade visual entre as classes utilizando imagens TM/LNDSAT. Observa-se que quase todas as classes apresentam desempenhos de separabilidade compreendidos entre excelente e bom. Nota-se que a discriminação das classes R1 e R2 da F3 é qualificada como regular.

Tabela 3. Desempenho de separabilidade visual entre as classes - TM/LANDSAT

| TM / LANDSAT | | | | | | | |
|--------------|----|-----|------|------|------|------|------|
| CLASSE | F1 | F2 | F3 | R1 | R2 | P | SE |
| F1 | | *** | **** | **** | **** | **** | **** |
| F2 | | | *** | ** | ** | **** | **** |
| F3 | | | | *** | *** | **** | **** |
| R1 | | | | | *** | *** | *** |
| R2 | | | | | | **** | **** |
| P | | | | | | | *** |
| SE | | | | | | | |

Se todos os valores de separabilidade entre as classes fossem excelente (***), resultaria um total de 84*, isto é, combinação de 7 classes tomadas 2 a 2 é igual a 21 possibilidades (21 vezes 4* = 84*). Caso todas as classes obtivessem o desempenho de separabilidade péssimo (*), resultaria um total de 21*, isto é, 21 possibilidades a partir da combinação de 2 a 2 é igual a 21 (21 vezes 1* = 21*). Considerou-se que quando todas as classes, combinadas 2 a 2, obtivessem um resultado excelente (***) resultaria em 100% (84*). Por outro lado, caso todas as combinações de classes não obtivessem asterisco (*) resultaria em 0% (0*). Desta forma, somando-se todos os (*) das **tabelas 2 e 3**, observou-se que as imagens da banda C/SAREX e TM/LANDSAT apresentaram 39* (46.4%) e 72* (85.7%) respectivamente, o que resulta num desempenho compreendido entre bom e excelente. A discriminação das

classes na imagem da banda C/SAREX foi bastante inferior ao verificado nas imagens TM/LANDSAT, principalmente na separabilidade das classes F1, F2 e F3 das classes R1 e R2.

6. Conclusões

Na avaliação dos dados da banda C/SAREX, observou-se que a quantidade de presença de sombra nos alvos está diretamente relacionado com a rugosidade do terreno. Quanto maior for a rugosidade do terreno, maior é a quantidade de sombra. Observou-se, também que quanto maior for a diferença de altura compreendida na região de fronteira entre alvos, maior é a quantidade de sombra. Observou-se que as sombras são mais altas nas regiões de fronteiras das classes florestais (F1, F2 e F3) para as classes P, SE e R1. Observou-se que as imagens da banda C/SAREX e TM/LANDSAT apresentaram 39* (46.4%) e (85.7%) respectivamente, o que resulta num desempenho compreendido entre bom e excelente. A discriminação das classes na imagem da banca C/SAREX foi bastante inferior ao verificado nas imagens TM/LANDSAT, principalmente na separabilidade das classes F1, F2 e F3 das classes R1 e R2.

Referências

- Hernández Filho, P. (1988), *Metodologia da análise visual de dados de sensoriamento remoto - vegetação*, setembro, INPE, São José dos Campos (INPE-4696-MD/037), Brasil.
- Hernández Filho, P., L. V. Dutra e S. Amaral (1994), *Resultados preliminares da análise visual de dados SAREX e descrição das atividades de campo na Floresta Nacional do Tapajós*, INPE, São José dos Campos (INPE-5567-NTC/314), Brasil.
- Shimabukuro, Y. E., P. Hernández Filho, D. C. L. Lee, F. J. Ahern, C. P. dos Santos Filho e R. R. de Almeida (1993), "Evaluation of C-band SAR data from SAREX'92: Tapajós study site", in *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Curitiba, 10-14 de maio, Anais, INPE, São José dos Campos, Brasil, v., pp. 456-462.

