

## INTEGRAÇÃO DE DADOS MULTIESPECTRAIS LANDSAT-5 TM COM IMAGENS SAR JERS-1, PARA FINS CARTOGRÁFICOS

Sérgio Monteiro Soares<sup>1,2</sup>  
Sidnei João Siqueira Sant'Anna<sup>1</sup>  
Gerardo Kuntschik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
e-mails:[msoares, sidnei, gerardo]@dpi.inpe.br

<sup>2</sup>DSG - Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro  
e-mail: msoares@eme.eb.mil.br

### Abstract

In several Brazilian areas, mainly in some rain forest regions, where there is cloud coverage trouble, all year long, the systematic mapping is delayed in time. In some of those areas there aren't any cartographic documents, in systematic scales (1:500.000, 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000 and 1:25.000) be able to represent them planimetrically. Those facts are due mainly by the following reasons: a) The absence of aerial photographs, because the weather conditions, all year long, doesn't permit to take them; b) By the same reason, the analysis and interpretation of the satellite images, like LANDSAT-TM or SPOT, can not be performed for natural and artificial targets identification, on the surface of the Earth, to possibility the manufacturing of the images-charts inside the visible spectrum; c) The only use of SAR images can not identify all the targets, cartographically representable, on an image-chart, even though such SAR images have the inconvenience of cloud coverage.

The aim of this work is to show what the digital images processing can efficiently do, through Main Components procedures, filtering, IHS Compositions, Resampling of SAR data over TM data and visualization in RGB space to better geometric identification of targets, be able to build an image chart without cloud coverage, which one was removed by these digital operations, if a specific algorithm was followed, like will be described in this paper. In work by Sanabria (1995) before it, made the data integration with the same purpose using multispectral SAR data by ERS-1. In this work, using the analog methodology, varying the type of data, sequence of procedures, type and sequence of filtering and incorporating a classification of the hybrid final product, was used SAR-images, in L band, polarization HH from JERS-1 Satellite. The choice for JERS-1 SAR-images in L band, against the SAR-images from ERS-1 in C band, was made by the higher penetration of the L band inside the canopy of the rain forests, permitting the better analysis of the geomorphology of the ground, in regions where cloud

coverage, all year long, doesn't permit the conventional cartographic methods.

The computational environment was made over the IDL and ENVI softwares, using graphical workstations. In all digital operations, since collected data from the tape devices, until creating the plotting files, as a final product, resulted of mixing TM data with SAR data, in all graphical formats, be able to build the base for production in large scale of images-charts, neither TM, nor SAR, but a composition of these data, removing the clouds effects from the TM data. These products can be used for paper image-chart or even for use like a data base for Geographical System Information, in geoprocessing analysis.

### 1 - Introdução

Em regiões caracteristicamente problemáticas quanto à cobertura de nuvens no Brasil, o mapeamento sistemático encontra-se defasado no tempo. Em algumas destas regiões inexistem qualquer documento cartográfico em escalas sistemáticas (1:500.000, 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000, 1:25.000) capazes de representá-las planimetricamente. Este fato se deve, principalmente, às seguintes razões: a) A ausência de aerofotos, por condições atmosféricas desfavoráveis o ano inteiro, impedindo um mapeamento convencional por restituição aerofotogramétrica convencional; b) A excessiva cobertura de nuvens (mesmo em séries temporais de imagens) impossibilitando a identificação planimétrica dos diversos acidentes terrestres, impedindo a confecção de cartas imagem TM, ou outros sensores passivos do espectro óptico; c) O uso apenas de imagens SAR não permite uma perfeita identificação planimétrica dos diversos acidentes naturais e artificiais sobre a superfície da Terra para fins cartográficos. Apesar de não apresentar a inconveniência da influência de condições atmosféricas adversas, como no caso das imagens TM, devido à natureza de obtenção destas imagens e de um forte ruído chamado *speckle*, fornece como principal elemento classificador a textura da imagem, ou o efeito

coletivo dos *pixels*, dependendo da escala de observação.

O presente trabalho tem por objetivo mostrar a eficiência de ferramentas de processamento digital de imagens, através das técnicas de *Principais Componentes*, *Filtragens*, *Composições IHS*, *Reamostragens de imagens sobre outras imagens com tamanhos de pixels diferentes (representados no terreno)* e *finalmente o retorno às composições coloridas RGB*, para melhor visualização dos produtos do processamento digital, permitindo uma melhor definição geométrica de alvos sobre a superfície terrestre, notadamente para fins cartográficos.

Em trabalho anterior, Sanabria (1995) realizou a integração de dados multiespectrais com dados SAR/ERS-1. No presente trabalho, partindo-se de uma metodologia análoga, realizou-se um estudo com imagens multiespectrais LANDSAT-5 TM e imagens SAR JERS-1, estas últimas obtidas na polarização HH e na banda RADAR L.

A utilização de imagens SAR JERS-1 é justificada pelo fato da banda L, por ter comprimento de onda maior que a banda C (ERS-1), ter maior penetração em dosséis florestais, fornecendo maiores informações sobre a geomorfologia do relevo sub-florestal. Finalmente tentou-se uma classificação do produto híbrido TM-SAR, comparando-o com a classificação de uma imagem LANDSAT-5 TM pura, para avaliação dos resultados obtidos.

O ambiente computacional utilizado como base de desenvolvimento da pesquisa foi o *software* ENVI e sua linguagem IDL associada, em *workstations* gráficas. Neste ambiente realizaram-se os tratamentos digitais acima citados e a geração do produto final híbrido TM-SAR, em diversos formatos digitais. Estes estão numa estrutura que os faz passíveis de serem utilizados para a confecção de fotolitos *off-set*, destinados à impressão de cartas-imagens em grandes quantidades, ou mesmo dados digitais para fins de base geográfica de dados aplicados à Sistemas de Informações Geográficas, em geoprocessamento.

Em imagens LANDSAT-5 TM, situadas na faixa do espectro óptico de 300 a 2500 nm, existem basicamente duas fontes de desinformação: a cobertura de nuvens, e as sombras causadas por estas nuvens. A desinformação é causada pelo ângulo de iluminação solar, na hora da passagem do Satélite LANDSAT-5.

A sombra não consiste, de fato, uma fonte absoluta de desinformação. Ela, apesar de não refletir diretamente a luz solar, é composta por uma reflectância difusa, capaz de ser parcialmente recuperada, nas operações de *Principais Componentes*, como será descrito a seguir.

No entanto a cobertura de nuvens reflete completamente a luz solar, apresentando uma cor branca, em composições **RGB** com bandas TM 5, 4 e 3, respectivamente.

No caso de imagens de RADAR as nuvens, dependendo da sua espessura, são praticamente

transparentes ao sinal retroespalhado. desta forma, através de fusão de dados, pode-se utilizar estas imagens para tentar retirar parcialmente o efeito desta opacidade de nuvens dos acidentes sobre a superfície terrestre.

Existem outras técnicas para a redução do efeito de nuvens em imagens multiespectrais. Em Krug(1992), por exemplo, a radiometria dos *pixels* sob as nuvens foi estimada através de modelos de séries temporais, a partir de composições de séries de imagens multitemporais.

Contudo existem certas regiões no Brasil e no mundo, em que a cobertura de nuvens é quase permanente durante todo o ano, especialmente nos horários de passagem do Satélite LANDSAT. Uma coleta de dados temporais, poderia levar anos, até que por processos auto-regressivos demorados, se conseguisse resgatar tanto as informações planimétricas, quanto radiométricas, destas áreas em questão. O processo seria demorado e excessivamente caro, para a confecção de uma carta-imagem, capaz de representar com relativa fidelidade uma região de cobertura quase permanente de nuvens, como é o caso de certas regiões brasileiras tais como o litoral nordestino, na altura de Sergipe e Alagoas e os Estados como o Acre, Roraima, Amazonas, Amapá, Pará, ditos pertencentes à Amazônia Física, cuja nebulosidade impede tanto a cartografia convencional por aerofotogrametria quanto a confecção de cartas-imagens ópticas, pelo mesmo motivo.

Mas este fato é bastante comum no globo terrestre em todas as chamadas *rain forest*, como também em regiões de grandes altitudes como a Cordilheira dos Andes, por exemplo. Nesses casos, esta tentativa de fusão de dados multiespectrais, com imagens SAR, ganha importância, pois pode proporcionar uma relativa interpretabilidade destas regiões.

Neste estudo, não se pretendeu criar um software de integração de dados multiespectrais com dados SAR, mas sim, de posse de todas as ferramentas digitais, já desenvolvidas, num encadeamento lógico, gerar um fluxograma de aplicação destas ferramentas, otimizando sua utilização, para a geração de um produto híbrido, capaz de representar cartograficamente uma região, antes impossível por processos convencionais.

## 2 - Dados Utilizados

A área selecionada para o estudo foi a denominada FLONA (Floresta Nacional do Tapajós), situada ao sul de Santarém, no Estado do Pará, numa área abrangida pelas latitudes S02° 56' e 38" e S03° 23' e 28" e longitudes variando de W54° 49'36" e W55° 01' e 45", conforme mostrado na Figura 01.

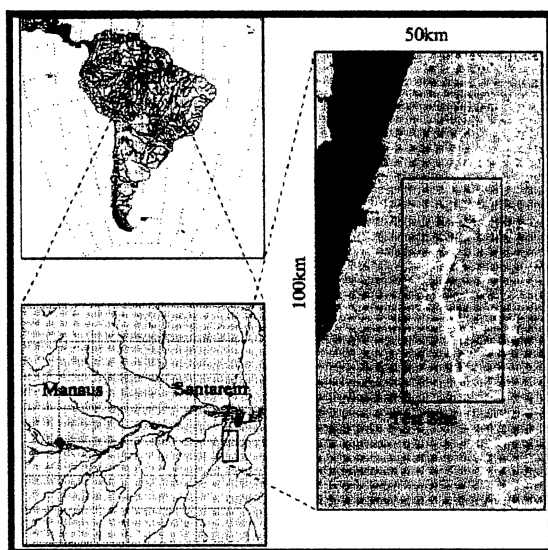


Figura 01 - Região de estudo

Esta região está situada ao longo da Rodovia Santarém-Cuiabá, tendo à Oeste a Floresta Nacional do Tapajós e à Leste, travessões de assentamento rural do Incra, ao Sul pela Rodovia Transamazônica e ao Norte pelo Rio Amazonas. Esta região é caracterizada pela exploração de madeiras nobres como o Mogno, Agelim e outros. Parte da região, anteriormente utilizada para pastos e agricultura, foram abandonados dando início a um processo de regeneração da floresta primária. Existem ainda, algumas áreas com solo exposto, preparados para cultura de Pimenta do Reino, ou novas formações de pasto para gado bovino.

Para fins de estudo na classificação digital foram escolhidas três classes distintas, Floresta primária, não-floresta ou rebrota ou cultura, e solo exposto. Foram ainda coletadas amostras de nuvens e sombras para evidenciar a falta de informação quando das operações digitais de classificação pelo classificador de máxima verossimilhança (*Likelihood*).

Desta área utilizaram-se as seguintes imagens:

1) Imagem LANDSAT-5 TM, nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 correspondendo respectivamente aos seguintes comprimentos de ondas médios: banda 1 ( $\lambda_m=0.48 \mu\text{m}$ ), correspondendo à cor azul; banda 2 ( $\lambda_m=0.56 \mu\text{m}$ ), correspondendo à cor verde; banda 3 ( $\lambda_m=0.66 \mu\text{m}$ ), correspondendo à cor vermelha; banda 4 ( $\lambda_m=0.83 \mu\text{m}$ ), correspondendo ao infravermelho próximo ou refletido; banda 5 ( $\lambda_m=1,65 \mu\text{m}$ ), correspondendo ao infravermelho médio, banda 7 ( $\lambda_m=2.13 \mu\text{m}$ ), correspondendo ao infravermelho distante. A banda 6 ( $\lambda_m=11,5 \mu\text{m}$ ) não foi utilizada por corresponder ao infravermelho termal, altamente

susceptível à absorção pela água da troposfera. Assim essa Banda introduz ruídos indesejáveis. Esta imagem é datada de 29 de Maio de 1993, com *pixels* de 30 metros de resolução geométrica, no terreno. Uma composição colorida RGB utilizando a banda 5 no canal R, a banda 4 no canal G e a banda 3 no canal B, pode ser vista na Figura 02.

2) Imagem SAR JERS-1 com órbita ponto 405/306, em amplitude, com um número de visadas ou *looks* igual à 3, de 16 bits, cada *pixel* com espaçamento geométrico de 12,5 metros. Esta imagem é da banda RADAR L ( $\lambda$  variando de 19 à 23 cm e frequências de 1 à 3 GHz) na polarização HH. A imagem SAR JERS-1, da mesma região, já filtrado o *speckle*, pelo filtro de Frost e já registrada sobre a imagem LANDSAT TM, pode ser vista na Figura 03.

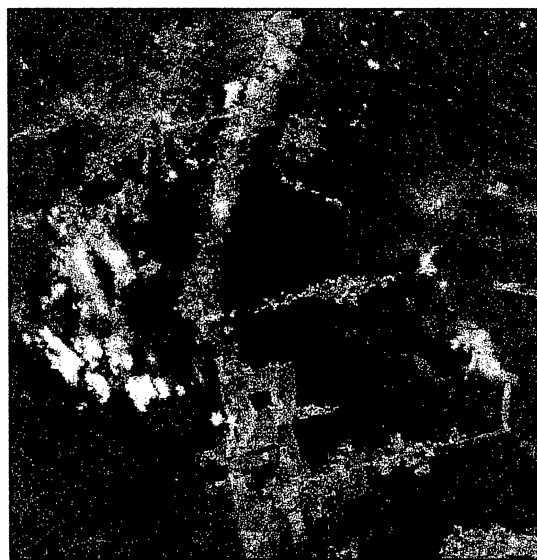


Figura 02 - Composição RGB da imagem LANDSAT TM com as bandas 5, 4 e 3, respectivamente.

Na imagem LANDSAT TM (Figura 02), pode-se notar áreas cobertas com nuvens e suas respectivas sombras, sendo estas as fontes de desinformação que o algoritmo proposto tenta minimizar para construção de cartas-imagens híbridas TM-SAR. Embora exista uma grande parte da imagem descoberta, a área foi escolhida para teste de classificação entre a imagem híbrida e a imagem LANDSAT TM original.

Não se trata, aqui, da recuperação da radiometria original das áreas encobertas por nuvens e sombras, e sim a geração de uma imagem de atributos, cuja classificação espectral assemelhe-se à classificação de uma imagem com a radiometria original. Entende-se aqui *radiometria*, como sendo a resposta em níveis de cinza de um determinado alvo.

Em conseqüência, devido a alteração da radiometria, índices antes válidos para imagens

multiespectrais como, por exemplo, o NDVI (Índice Normalizado de Vegetação), por combinação linear entre as bandas 3 e 4 do sensor TM, naturalmente não são aplicáveis à imagem híbrida.



Figura 03 - Imagem SAR JERS-1, filtrada e registrada sobre a imagem LANDSAT TM.

Na imagem SAR JERS-1 (Figura 03) os acidentes planimétricos típicos de representação cartográfica não estão perfeitamente definidos. A falta de cores impede uma análise visual correta para a devida colocação das toponímias e simbologias cartográficas adequadas às escalas sistemáticas, relativas à vegetação, estradas, floresta primária, áreas de não-floresta, etc. Devido à natureza da imagem, a textura se torna o principal elemento pelo qual se poderia tentar uma classificação cartograficamente representável, apesar de não conter a indesejável cobertura de nuvens e suas sombras, como fontes de desinformação.

### 3 - Metodologia

Como mencionado na Introdução deste trabalho, não trata-se aqui de desenvolvimento de um *software* específico para a geração da fusão de dados multiespectrais com imagens RADAR. Versa sobre a correta utilização de ferramentas computacionais para tratamentos digitais de imagens, em diversos programas comerciais, numa ordem lógica, obtendo como resultado um produto capaz de ser utilizado para

a confecção de cartas-imagens, fugindo ao conceito tradicional da cartografia, qual seja a aerofotogrametria.

### 3.1 - Pré-processamento da imagem LANDSAT TM

Serão apresentados os procedimentos de pré-processamento da imagem LANDSAT TM, assim como os passos a serem seguidos, explicando-os quando não forem óbvios.

3.1.1 - Seleção da região com problemas meteorologicamente constatados por imagens temporais, não sendo passíveis de serem utilizados como cartas-imagens ópticas (TM ou SPOT, por exemplo), dentro do enquadramento do mapeamento sistemático, na escala escolhida.

3.1.2 - Execução do procedimento estatístico conhecido como *Principais Componentes*.

#### *Principais Componentes:*

Uma grande correlação inter-bandas em imagens multiespectrais é um problema frequentemente encontrado quando da análise destas imagens. A causa disto é que uma imagem obtida em diversos comprimentos de ondas do espectro eletromagnético (faixa conhecida como espectro óptico), muitas vezes torna um determinado alvo redundante em termos espectrais. A técnica de *Principais Componentes*, tem como objetivo estratificar estas informações redundantes em novas bandas espectrais, em ordem decrescente de quantidade de informações, reduzindo a *dimensionalidade*, dos dados. Desta forma, em uma imagem com  $n$  bandas espectrais, suas primeiras (1, 2, 3, dependendo da quantidade de Bandas), conterão a grande maioria das informações, sendo as últimas componentes consideradas resíduos ou percepção de radiação difusa. Em termos geométricos trata-se de uma rotação e translação de eixos espectrais de modo a orientar os novos eixos principais nas direções de máxima informação.

No caso em estudo, a imagem LANDSAT-5 TM possuía as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Aplicando as operações estatísticas de *Principais Componentes*, foram geradas as seguintes novas bandas espectrais: PC1, PC2, PC3, PC4, PC5 e PC6.

Verificou-se que a PC1 continha mais de 90% da informação espectral das imagens. A fim de se avaliar quais das *Principais Componentes* apresentava o maior grau de informação da reflectância difusa (sombra das nuvens), foram feitas todas as combinações RGB possíveis com as *Principais Componentes*, fixando-se canal G (verde) sempre a PC1.

Analisando cada uma destas composições coloridas verificou-se que a composição RGB PC5-PC1-PC6, apresentava a maior quantidade de informações da reflectância difusa provocada pelas sombras das nuvens.

A fixação da PC1 no canal G (verde) deve-se ao fato desta componente traduzir mais de 90% do Albedo, o que corresponde à resposta da vegetação verde sadia (Floresta Amazônica). Assim para se tentar preservar um aspecto mais parecido com a realidade, fixou-se a *Principal Componente* PC1 no canal G nas combinações das composições RGB.

Analogamente foi feita a operação de *Principais Componentes* com as bandas TM 3, 4 e 5, obtendo-se as bandas PaC1, PaC2 e PaC3. A componente PaC1, continha mais de 90% das informações entre as Bandas espectrais 3, 4 e 5. Nesta *Principal Componente*, isenta dos resíduos difusos das sombras e contendo a maior resposta da vegetação será mais tarde útil na transformação inversa da composição IHS para RGB, para a tentativa de restauração dos atributos de níveis de cinza, correspondentes à radiometria original da cena TM.

3.1.3 - Transformação IHS da composição colorida RGB, eleita como a melhor representativa das informações da reflectância difusa das sombras das nuvens.

Uma forma alternativa de descrever as cores das imagens é no espaço IHS (*Intensity* ou Intensidade, *Hue* ou Matiz e *Saturation* ou Saturação). O Matiz é a medida do comprimento de onda médio da energia eletromagnética que ele reflete, o que determina a sua cor. A Intensidade é a quantidade de energia total refletida em todos os comprimentos de onda, o que define o brilho do alvo. A Saturação expressa o intervalo de comprimentos de onda ao redor do comprimento de onda médio, no qual a energia é refletida e corresponde à pureza da cor. Objetos com altos valores de saturação são vistos em cores espectralmente puras, enquanto que objetos com baixos valores de saturação são vistos em tons pastéis.

A transformação do espaço RGB para o IHS pode permitir maior controle sobre o realce das cores. Esta transformação é feita em várias etapas. Em primeiro termo escolhe-se um grupo de três bandas espectrais, calcula-se o matiz, intensidade e saturação para elas através de algoritmos que relacionam ambos espaços de cores. Como resultado obtêm-se três novas imagens, cada uma das quais representam I, H e S. A seguir se efetua um aumento de contraste das imagens I e S. Finalmente se realiza a transformação inversa IHS $\Rightarrow$ RGB. Isto fornece como consequência composições coloridas com reduzida correlação entre as bandas e, conseqüentemente, uma melhor utilização do espaço de cores.

Neste trabalho as bandas espectrais escolhidas para a transformação RGB $\Rightarrow$ IHS, foram as formadoras da composição RGB PC5-PC1-PC6 da imagem

LANDSAT-5 TM computando-se as bandas obtidas através das *Principais Componentes*, a partir das bandas TM originais 1,2,3,4,5 e 7. Esta composição como descrito, representava a imagem que melhor realçava a reflectância difusa das sombras das nuvens..

Esta composição IHS, recém criada foi a chave para a introdução de uma banda RADAR na transformação inversa para o espaço RGB, como será descrito.

### 3.2 - Pré-processamento da imagem SAR JERS-1

A imagem SAR JERS-1 não é, à princípio, compatível com a imagem TM, nem em número de bits, representativos dos níveis de cinza de cada *pixel*, nem na resolução geométrica do *pixel* no terreno, 12,5 metros (radar) contra 30 metros (TM). É uma imagem monobanda, obtida em visada lateral, diferente da imagem LANDSAT TM, que é cônica em visada nadir.

Portanto é de se esperar grandes distorções no registro SAR JERS-1 sobre a LANDSAT TM, se uma região de dimensões compatíveis não for previamente selecionada.

#### 3.2.1 - Filtragem do *Speckle*

Um ruído, característico de imagens SAR, chamado *speckle*, introduz uma textura adicional à textura original da imagem SAR, criando uma pigmentação. O efeito coletivo de uma imagem SAR é a textura da cena imageada misturada com a textura *speckle* (Ahren, 1994). Isto dificulta sobremaneira a interpretação, análise e classificação digital de uma imagem SAR.

Existem vários tipos de filtros de *speckle*, implementados em softwares comerciais. Neste trabalho optou-se pelo filtro de Frost, pela melhor definição das bordas da imagem filtrada, conforme demonstrou Sant'Anna (1995)

O filtro proposto por Frost et al. (1982) é convolucional linear, derivado da minimização do erro quadrático médio (critério MMSE - *Minimum Mean Square Error*) sobre o modelo multiplicativo, que representa o ruído *speckle*. Este filtro incorpora a dependência estatística do sinal original, já que considera uma função de correlação exponencial entre *pixels* vizinhos. É um filtro adaptativo que preserva a estrutura de bordas e é geral, não obstante seja baseado na detecção quadrática.

De posse da imagem SAR, descrita no item 2, foi executada a filtragem de toda a imagem, antes da reamostragem/registro desta sobre a imagem LANDSAT TM. Também não foi reduzido o número de bits de cada *pixel* de 16 para 8 bits, ou seja de inteiro para byte. Esta redução foi feita automaticamente executada, quando do registro da imagem SAR sobre a imagem TM.

3.2.2 - Registro da imagem SAR JERS-1 sobre a imagem LANDSAT TM, selecionada e já cortada para a região de interesse.

Este registro e concomitantemente a reamostragem da imagem SAR JERS-1 sobre a imagem LANDSAT TM, foi feita de modo linear, utilizando-se polinômios do primeiro grau e com interpolação pelo critério dos *pixels* vizinhos mais próximos.

Notou-se que a imagem inteira SAR JERS-1 mostrou-se consistentemente coincidente com a imagem LANDSAT TM na região de interesse, isto é, região em que foram coletados os pontos de controle, apresentando distorções nas bordas. Este fato era esperado, uma vez que os pontos de controle, coletados em ambas as imagens situavam-se na imagem LANDSAT TM cortada para a região de interesse.

Uma vez registrada e reamostrada a imagem SAR JERS-1 sobre a imagem LANDSAT TM, foi feito o corte da mesma, coincidindo *pixel a pixel* uma imagem sobre a outra, ajustando-se a representatividade do tamanho geométrico do *pixel* no terreno em ambas as imagens, bem como sendo a banda SAR representada no formato ponto flutuante (*float*).

Por necessidade do software utilizado (ENVI), tanto a imagem SAR JERS-1 como as PC1 e PaC1, foram transformadas no formato ponto flutuante num *range* variando entre zero e um ( 0.0 e 1.0), para a reversão da composição IHS para RGB (retorno).

### 3.3 - Fusão de dados SAR-TM

Conta-se agora com uma composição IHS formada pela transformação das *Principais Componentes* PC5-PC1-PC6 obtidas da imagem LANDSAT TM, nas 6 bandas disponíveis (1,2,3,4,5 e 7).

A transformação inversa desta composição IHS para o espaço RGB foi feita da seguinte forma:

a) Na componente I foi inserida a banda SAR *float*, num *range* de 0.0 a 1.0, à qual foi associada ao canal R, na transformação inversa IHS→RGB, representando a região sem o efeito das nuvens. Portanto era de se esperar que no lugar das nuvens uma textura amarelo-avermelhada aparecesse na composição RGB, produto final híbrido;

b) Na componente H foi inserida a banda espectral PaC1, obtida na operação de *Principais Componentes* entre as bandas TM 3, 4 e 5, associando-a ao canal G (verde) por representar o Albedo da região, cor dominante da região (Floresta Amazônica);

c) Na componente S foi inserida a PC1, obtida nas operações de *Principais Componentes* com todas as bandas TM, portanto contendo informações sobre a

reflectância difusa, associando-a ao canal B (azul) da composição RGB de retorno, esperando-se que as sombras aparecessem com cores azul-avermelhadas (magenta).

Com efeito, após a reversão da composição IHS original para o espaço RGB, obteve-se a composição colorida vista na Figura 04. Nesta imagem foram usados filtros lineares, gaussianos, quadráticos e manipulação manual nos histogramas RGB, para o produto final considerado aceitável.

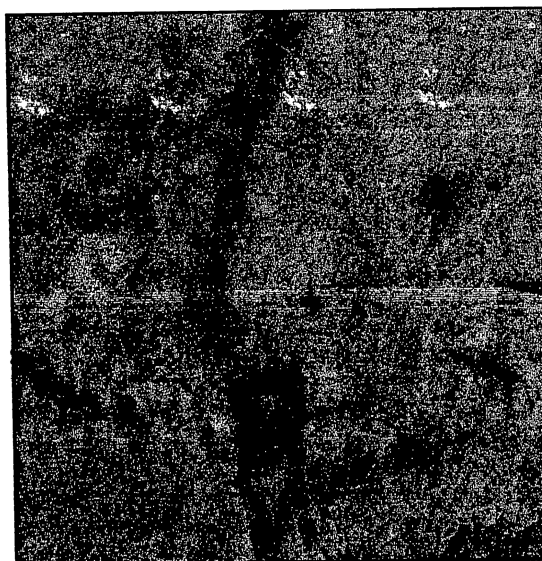


Figura 04 - Produto híbrido LANDSAT TM/SAR JERS-1

Nesta imagem, em comparação com a imagem contida na Figura 02, pode-se notar que a desinformação provocada pelas nuvens e sombras foi reposta pela textura SAR, em cores amarelo-vermelho-esverdeado. Contudo foi restaurada a informação planimétrica capaz de representar a região numa carta-imagem, em cores (radiometria ou atributos de cores) bem próximos da composição RGB original das bandas TM 5, 4 e 3, da Figura 02.

### 3.4 - Classificação Digital de Máxima Verossimilhança

Para que a imagem híbrida, possa finalmente ser usada como produto tipo carta-imagem, se faz necessária uma interpretação visual, entre as imagens originais SAR JERS-1 e LANDSAT TM, bem como uma classificação digital, que possa ser usada como *template*, para a colocação da toponímia e simbologia adequadas aos diversos acidentes naturais e artificiais,

sobre a superfície terrestre, de acordo com a escala de representação sistemática.

Foi escolhido o classificador de Máxima Verossimilhança pontual, pelo fato da imagem híbrida ter sido gerada com mais de 50% de informações da imagens LANDSAT TM.

Analogamente foi feita a mesma classificação sobre a imagem LANDSAT TM original comparando as classificações para a detecção de distorções aberrantes, porventura existentes.

Para estas classificações supervisionadas, foram coletadas amostras de treinamento para determinação dos parâmetros pelo classificador escolhido conforme mostrado na Figura 05.



Figura 05 - Amostras coletadas para o treinamento do classificador de Máxima Verossimilhança

Pode-se notar através das regiões escolhidas como amostras que foram escolhidas 4 classes:

- a) Na cor **preta**: Amostras de nuvens e sombras;
- b) Na cor **verde escuro**: Amostras de floresta primária;
- c) Na cor **verde claro**: Amostras de não-floresta, incluindo, pastos sujos ou limpos, áreas de rebrota, áreas de utilizações agrícolas.
- d) Na cor **coral**: Áreas de solo exposto.

Embora as nuvens tenham reflectividade branca e as sombras tenham cor negra, na composição RGB da Figura 02, para fins de classificação foi escolhida a mesma cor **preta**, tanto para nuvens, quanto para sombras, com a finalidade de simbolizar o atributo de DESINFORMAÇÃO na imagem da composição colorida RGB 543 - TM.

Estas amostras, portanto, não tem caráter classificatório, tem apenas a finalidade de indicar as regiões onde não se pode determinar o que existe nas ditas regiões.

Os resultados destas classificações podem ser visualizadas nas imagens contidas nas Figuras 06 e 07.

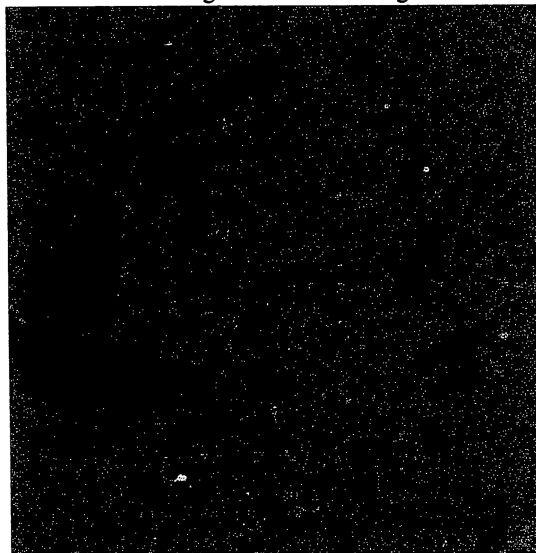


Figura 06 - Imagem da composição RGB 543 - TM classificada.

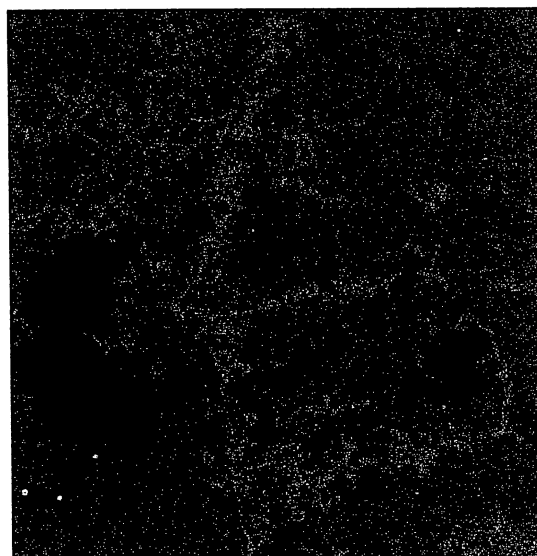


Figura 07 - Imagem LANDSAT TM classificada, filtrada pelo filtro da moda de dimensão 5X5 pixels.

Nestas duas imagens, pode-se notar as manchas negras, regiões não classificadas, por opacidade ou sombras relativas às nuvens. A cor verde claro predomina sobre a cor coral, significando que foi considerado maior área de não floresta do que solo exposto.

Foram desconsideradas nessas imagens classificadas, o atributo bordas, por causa do tamanho da janela utilizada para a filtragem da moda.

Nas Figuras 08 e 09 a mesma classificação MAXVER, na imagem híbrida.

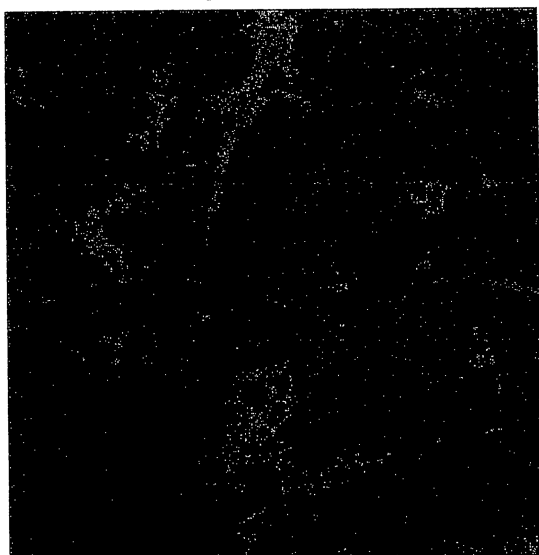
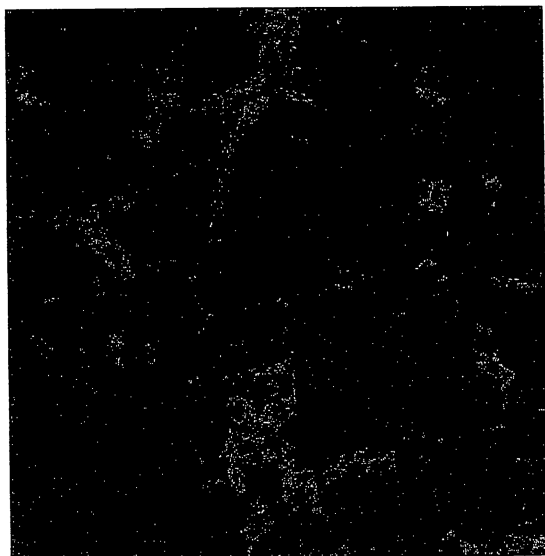


Figura 08 - Imagem híbrida TM/SAR classificada.



9 - Imagem híbrida classificada, filtrada com filtro da moda de dimensão 5X5 pixels.

É possível perceber que nas regiões onde a classificação da imagem LANDSAT TM havia áreas de desinformação, nas imagens classificadas do produto híbrido aparecem classificadas, embora com áreas de erro, onde nuvens foram tomadas como não floresta. Porém, apesar da radiometria original da imagem LANDSAT TM ter sido perdida tanto pelas operações de principais componentes, transformações IHS e inclusão de uma banda RADAR, a classificação da

imagem híbrida é bem próxima da original, tendo a vantagem de não haver áreas não classificadas. O fluxograma completo de toda a metodologia utilizada está descrito na Figura 10.

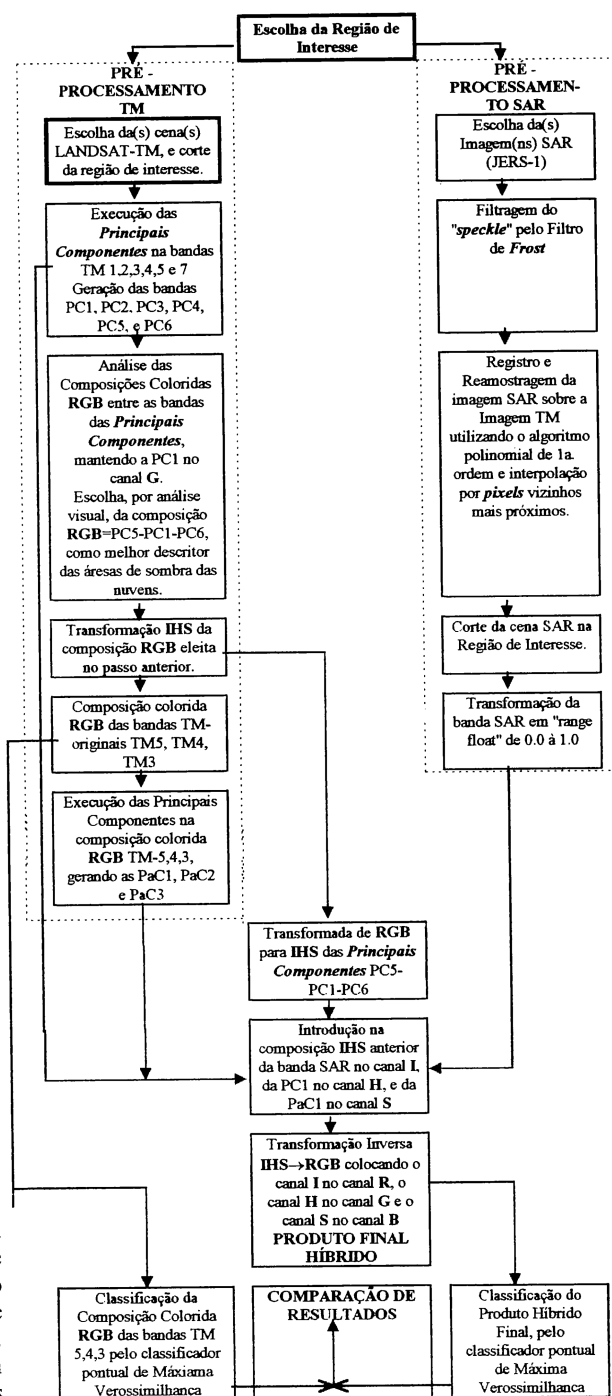


Figura 10 - Fluxograma da Metodologia da Integração de Dados TM/SAR



#### 4 - Conclusão

O produto final híbrido mostrou-se satisfatório para a confecção de carta-imagem. Não obstante ter havido perda da radiometria da imagem LANDSAT TM (com todo o processamento efetuado), o resultado da classificação da imagem híbrida apresentou-se bem coerente com a verdade terrestre. Esta classificação servirá apenas como *template*, em combinação com a imagem SAR JERS-1 original, para quantificar e qualificar os acidentes naturais ou artificiais, passíveis de serem representados em uma carta-imagem. Possibilitando desta forma, a um custo muitíssimo menor quando comparada com a técnica de coleta multitemporal de dados de um mesmo sensor, na tentativa de compor uma imagem isenta de nuvens e sombras.

Tem, a vantagem ainda, de em regiões de parcial cobertura permanente de nuvens o ano inteiro, a confecção de cartas-imagens ou geração de produtos coloridos, próximos de uma composição colorida original, servir de base de dados para Sistemas de Informações Geográficas, em geoprocessamento.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores são extremamente gratos ao Sr. MSc. ULF WALTER PALME, por todo o seu apoio e precisa orientação técnica e também ao CNPq, através do Projeto PROTEM-CC GEOTEC (Processo 680.061-94-0)

#### 5 - Referências Bibliográficas.

- AHERN, F., J. *Basic Concepts of Imaging Radar, a Intensive Course*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Outubro, 1994.
- BROCKWELL, P.J.; DAVIS, R. A. *Times series: theory and methods*. Berlin, Springer- Verlag, 1987.
- CROSTA, A. P. *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Campinas, SP, UNICAMP, 1992, 170p.
- DUTRA, L. *Classificação de Texturas usando Modelos ARMA e Distâncias da Função de Autocorrelação*. (Tese de Doutorado em Computação Aplicada). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Abril 1990, 162 p. (INPE-5067-TDL/406).
- FRERY, L.V.; SANT'ANNA, S.J.S. *Non-adaptive robust filters for speckle noise reduction*. In: Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, 6., Recife, PE, 19-22 out. 1993. Anais. Recife, SBC/UFPe, out. 1993, pp. 165-174
- FROST, V.S.; STILES, J. A.; SHANMUGAN, K.S.; HOLTZMAN, J. C. *A model for radar images and its applications to adaptive digital filtering of multiplicative noise*. IEEE Trans. on Pattern Analysis Machine Intelligence, PAMI-4: 157-166, 1982.
- KRUG, T. *Statistical approaches to the estimation of missing values arising in remotely sensed data*. (PhD Thesis) - University of Sheffield, 1992.
- LILLESAND T., M.; KIEFER, R. W. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons, New York, NY, 1987.
- MARCHETTI, D. A.B.; GARCIA, G. J. *Princípios de Fotogrametria e Fotointerpretação*. São Paulo, Nobel, 1986, 264p.
- NETER, J.; WASSERMAN, W. *Applied Linear Statistical Models*. Richard D. Irwin Inc., Homewood, Illinois, 1974, 415p.
- PALME, U. W. *Radares geradores de imagens. Fundamentos*. Notas de curso. Fundación Instituto de Ingeniería. Caracas, Venezuela. 1995, 20 p.
- PORAT, B. *Digital Processing of Random Signals: Theory & Methods*. New Jersey, Englewood Cliffs, 1994, 449 p.
- RICHARDS, J. A. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer-Verlag, Berlim, 1986, 281 p.
- SANABRIA, Y. R., *Integración de datos LANDSAT TM-5 y ERS-1, en el mapeamiento de unidades ecológicas en la Amazônia Brasileira-Colombiana (Tabatinga-Leticia)*, INPE, São José dos Campos, SP, Dezembro de 1995.
- SANT'ANNA, S.J.S. *Avaliação do desempenho de filtros redutores de "speckle" em imagens de RADAR de Abertura Sintética*. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Novembro de 1995.
- SANT'ANNA, S. J. S.; DUTRA, L. *SAR Texture Discrimination using AR-2D models for Amazonian Land use classification*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1995.
- SLATER, N. P. *Remote Sensing: Optics and optical systems*. Addison-Wesley Publishing Company, London, 1980.