

SENSORIAMENTO REMOTO POR RADAR (SAR): PRÉ-PROCESSAMENTO DE IMAGENS RADARSAT ("FINE MODE") NA REGIÃO DA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS

Silvana Amaral e Yosio E. Shimabukuro

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515, CEP 12227-010 São José dos Campos, SP, Brasil
telefone: 55 12 325 64 83, fax: 55 12 325 64 68
silvana@dpi.inpe.br, yosio@ltd.inpe.br

Thierry Toutin e Frank Ahern

Canada Centre for Remote Sensing - CCRS
588, Booth Street, Ottawa, K1A 0Y7, Ontario, Canada
Frank.Ahern@ccrs.emr.ca, Thierry.Toutin@ccrs.emr.ca

RESUMO

Este trabalho relata as primeiras atividades desenvolvidas no Projeto ADRO (CCRS/INPE) com imagens RADARSAT - "fine mode", para aplicações em área florestal. O Projeto ADRO tem como objetivo, a avaliação da potencialidade das imagens RADARSAT em diferentes áreas, para diferentes aplicações. Para esta aplicação (estudo de áreas florestais), a área de estudo compreende a Floresta Nacional do Tapajós, Santarém - PA. Foram utilizadas duas imagens RADARSAT, SGF- F2, de 20/05/96 e SGX-F5 de 03/05/96 e uma imagem TM/Landsat (WRS 227/62) de 07/08/95, bandas 3, 4 e 5. As imagens RADARSAT foram submetidas a calibração radiométrica relativa, orto-correção através de modelagem geométrica, considerando o modelo digital de elevação (MNT) do terreno, e integração com imagem TM/Landsat utilizando a transformação IHS. O procedimento metodológico e a avaliação visual do produto resultante da integração com imagem TM/Landsat são apresentadas quanto a capacidade de discriminar diferentes coberturas florestais e distúrbios na floresta.

1. INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto na região de microondas, coloca a disposição um valioso conjunto de dados para áreas onde a cobertura de nuvens é freqüente, vantagem até então não disponível quando da utilização de dados provenientes das porções visível e infravermelho do espectro eletromagnético.

Esta característica é um dos fatores que motivam o desenvolvimento de técnicas para extração de informações a partir de imagens de radar para áreas como a Amazônia, onde a dimensão territorial e a cobertura de nuvens demandam dados com as características descritas para imagens de radar.

Contudo, para que imagens de radar sejam utilizadas, em projetos operacionais, para monitoramento ambiental por exemplo, é necessário que a comunidade de usuários conheça e domine as técnicas de correções (pré-processamento) básicas necessárias e as informações provenientes de cada produto disponível no mercado.

Este trabalho, insere-se no escopo de atividades previstas pelo projeto ADRO - INPE/CCRS, de avaliação das potencialidades das imagens RADARSAT, especificamente para aplicações florestais. O objetivo específico é descrever o processamento digital realizado em imagens RADARSAT-fine mode, para a correção radiométrica e geométrica das imagens, e posterior integração com dados TM/Landsat.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo constitui-se da porção norte da Floresta Nacional (Flona) do Tapajós, no município de Santarém, PA - Brasil. A região de interesse encontra-se entre as coordenadas 55° 03' 23" e 54° 53' 11" de longitude oeste e 02° 52' 40" e 03° 01' 07" de latitude sul. A Flona é administrada pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e é limitada pelo Rio Tapajós a oeste e pela BR-163 a leste (Figura 1).

A região é marcada por estações seca (agosto a novembro) e chuvosa (fevereiro a maio) bem definida com temperaturas variando de 20°C a 35°C, e mínimas ocorrendo durante a estação chuvosa. É caracterizada ainda por duas grandes unidades morfoestrutural - o Planalto Rebaixado da Amazônia (cotas de 100m) e o Planalto Tapajós/Xingu (cotas entre 120 a 170 m).

De acordo com o RADAMBRASIL (1976) a vegetação também é subdividida em duas regiões: Baixos Platôs da Amazônia, que por sua vez se divide

em Ecossistemas de Baixos Platôs e Ecossistemas de Baixos Platôs Dissecados, e os Altos Platôs dos Rios Xingu e Tapajós. Ambas regiões apresentam floresta tropical densa com espécies de alto valor econômico, sendo estas mais abundantes nos Altos Platôs.

A Flona, como unidade de conservação pode ser manejada e provavelmente terá parte de seus recursos madeireiros explorados, através de metodologia de manejo sustentado desenvolvida pelo IBAMA.

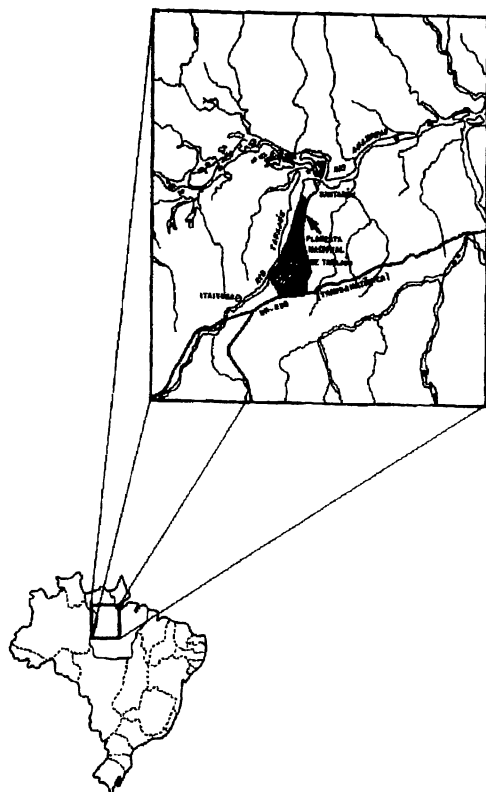


Figura 1. Localização da Floresta Nacional do Tapajós

Apresenta-se atualmente ocupada por muitos colonos estabelecidos ao longo do Rio Tapajós e da estrada que comunica a BR-163 com o vilarejo de Tauari, atravessando o povoado de São Jorge. Estes colonos mantêm atividades de agricultura e pastagem, alterando a cobertura florestal original.

3. RADARSAT

RADARSAT é o primeiro satélite canadense de observação da Terra desenvolvido para aplicações de manejo e monitoramento dos recursos naturais. O sensor de radar a bordo do satélite opera numa única frequência de microondas - banda C, com frequência de 5,3 Ghz (5,6 cm de comprimento de onda),

polarização HH, e tem a possibilidade de 7 modos de imageamento de acordo com a faixa imageada e a resolução disponível (modos: "scansar wide", "scansar narrow", "extended low", "wide", "standard", "extended high" and "fine") (RADARSAT, 1995).

Para cada um dos modos de imageamento é possível selecionar uma posição do ângulo de incidência disponível. Por exemplo, para as imagens "fine mode", de 10 m de resolução nominal e 50 x 50 km de faixa imageada, é possível selecionar 5 posições de ângulo de incidência: de F1 (37 a 40 graus) a F5 (45 a 48 graus).

Para este trabalho foram utilizadas duas imagens RADARSAT - "fine mode", cujas características são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Imagens RADARSAT utilizadas

	F5 - SGX	F2 - SGF
Data	03/05/1996	20/05/1996
Modo	F5 - SGX	F2 - SGF
Ângulo de Incidência (graus)	45-48	39-42
Resolução Nominal (m)	10m (8,8 a 9,0m)	10m (8,8 a 9,0m)
Tamanho do Pixel (range, azimuth)	3,125 x 3,125	6,25 x 6,25
Latitude central (graus)	-3,07936	-2,91194
Longitude central (graus)	-54,96849	-43,83519
Número de Pixels	12166	6770
Número de Linhas	13766	8100
Número de Looks	1	1

As imagens RADARSAT são disponibilizadas em diferentes níveis de processamento. A imagem F2 utilizada neste trabalho é uma "path image" - SGF, ou seja a imagem foi alinhada paralela à órbita do satélite e teve as coordenadas (latitude e longitude) iniciais, finais e central adicionadas a cada linha do dado. A imagem F5 por sua vez é um produto do tipo "path image plus" - SGX, que difere do anterior apenas quanto ao procedimento de amostragem utilizado. Produtos SGX utilizam um tamanho de pixel menor para manter a resolução plena.

Quanto à direção de visada, o satélite RADARSAT pode imagear a Terra com a visada para leste quando a órbita é ascendente (6:00 a.m. horário de cruzamento do Equador) e para oeste quando a órbita é descendente (6:00 p.m. horário de cruzamento do Equador). As duas imagens utilizadas foram adquiridas em órbita descendente.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Por calibração radiométrica absoluta de imagens de radar, entende-se a extração dos valores de retroespalhamento (σ^0) a partir dos níveis digitais de amplitude presentes nas imagens. Esta calibração possibilita a compreensão dos processos de retroespalhamento dos alvos e conseqüentemente a comparação entre imagens de datas e passagens distintas. Contudo, esta calibração absoluta ainda não está disponível para as imagens RADARSAT. Apenas a calibração relativa encontra-se disponível, e consiste na eliminação de uma “look up table” (valores de ganho e off-set) que foi aplicada na imagem no processo de gravação, e na conversão dos valores digitais de magnitude em potência. Esta calibração, apresentada sumariamente a seguir, encontra-se detalhadamente descrita em Shepherd et al (1995).

No “header” da imagem (campos 12 a 531) encontram-se os valores de ganho e offset que foram incorporados e desta forma os valores de brilho da imagem podem ser calculados por:

$$\beta^{\circ}_{(R)} = 10 * \log_{10} \left[\frac{\{DN^2 + A_0\}}{A_{(R)}} \right] \text{ dB}$$

onde:

$\beta^{\circ}_{(R)}$ = brilho do pixel - ground range (R)

DN = número digital

A_0 = offset fixo (look up table)

$A_{(R)}$ = ganho para o pixel “ground range” (R)

Para calcular os valores de brilho de toda a imagem, deve-se considerar o ângulo de incidência para cada coluna da imagem, e o retroespalhamento (σ^0) pode então ser obtido corrigindo-se os valores de brilho para os ângulos de incidência $I_{(R)}$, onde I é uma função do “range” r :

$$\sigma^{\circ} = \beta^{\circ}_{(R)} + 10 * \log_{10} \{ \text{sen } I_{(R)} \} \text{ dB}$$

A partir desta imagem, os valores de nível digital de potência podem ser obtidos a partir de σ° através da relação: $\sigma^{\circ} = 10 \log_{10} DN_{(P)}$.

Atenção especial deve ser dispensada à imagens de órbita descendente, como às utilizadas neste trabalho, uma vez que a “look up table” estava sendo aplicada indiscriminadamente do sentido da órbita. Estas imagens deveriam ser espelhadas antes de se aplicar a correção relativa e depois novamente espelhadas para representarem fidedignamente a superfície.

As imagens RADARSAT - SGF e SGX são fornecidas em “ground range” porém necessitam de correção geométrica. Esta correção faz-se necessária quando se deseja eliminar efeitos de relevo (lay-over e sombra) ou mesmo utilizar as imagens para

integração com outros tipos de imagens, como no caso imagens TM/Landsat.

Em substituição ao tradicional registro polinomial de imagem com mapa ou imagem-imagem, aconselha-se o uso da modelagem geométrica unificada e integrada para a correção das imagens (Toutin, 1995). Ao invés de corrigir localmente a imagem ajustando um modelo polinomial a partir dos pontos de controle, o modelo geométrico corrige globalmente a imagem considerando as distorções da plataforma (posição, velocidade e orientação), do sensor (ângulo de orientação e integração do sinal), da Terra (geóide e elipsóide, incluindo elevação) e da projeção cartográfica (plano cartográfico e elipsóide).

O procedimento de orto-correção utilizando o modelo geométrico apresenta-se esquematizado na figura 2.

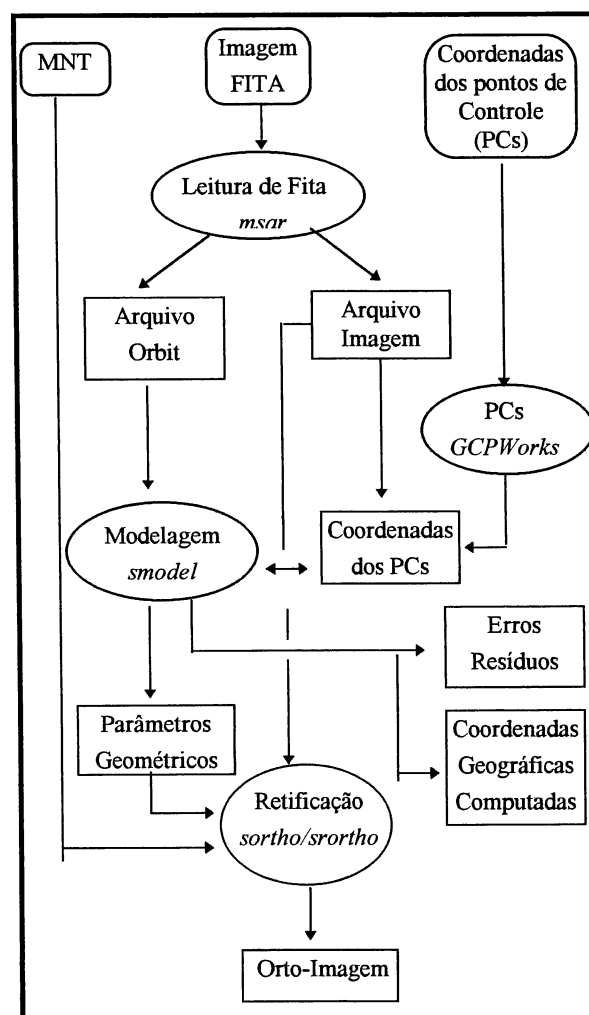


Figura 2. Fluxograma do procedimento utilizado para correção geométrica das imagens RADARSAT e TM/Landsat.

O procedimento básico consiste inicialmente na leitura da imagem, onde as informações de atitude, efeméride e geometria de visada são extraídas. Na seqüência, um mínimo de 12 pontos de controle com coordenadas X, Y e Z devem ser coletados para a imagem, e o modelo pode ser computado. Os parâmetros orbitais são usados para inicializar o modelo e então um ajuste iterativo de mínimos quadrados é utilizado para resolver a equação com os pontos de controle (7 pontos são usados para resolver a equação de imagens SAR). Como resultado obtém-se os parâmetros do modelo geométrico, os resíduos dos pontos de controle, os erros dos pontos de teste e as coordenadas geográficas computadas para cada ponto.

Uma vez gerado o modelo, a imagem pode ser orto-corrigida para um sistema de projeção geométrica definido e um Modelo Digital de Elevação pode ser utilizado para computar as distorções de elevação para cada pixel da imagem. Para a reamostragem final da imagem pode-se selecionar um filtro de eliminação de "speckle" substituindo os interpoladores (vizinho mais próximo, bilinear ou bicúbico), gerando assim uma imagem orto-corrigida e com efeito de speckle minimizado, evitando assim múltiplas interpolações.

5. METODOLOGIA

Para a integração com as imagens RADARSAT, foi utilizada uma imagem TM/Landsat-5, WRS - 227/62, de 7 de agosto de 1995, bandas 3,4 e 5.

Utilizou-se um modelo numérico de terreno da altimetria da região, para a correção geométrica. Foram utilizadas as isolinhas com valores de cota, digitalizadas no sistema de informação geográfica SGI pelo projeto Funatura (Hernandez Filho et al, 1993). As isolinhas foram interpoladas no software Spring através de triangulação para gerar uma grade regular, com resolução de 30 m. Esta grade regular deu origem a uma imagem onde os valores de nível digital correspondem aos valores de altimetria, que foi utilizada na orto-correção.

Para o processamento de imagens utilizou-se o software PCI. Inicialmente as imagens RADARSAT foram lidas com o algoritmo *msar*. O ângulo de incidência foi calculado para as colunas utilizando o *sarincid*, e o retroespalhamento obtido através do *sarsigma*. Através da opção *model*, os valores de retroespalhamento foram convertidos de retroespalhamento- σ^0 (decibéis) para potência (nível digital), através da expressão:

$$\text{Potência} = 10^{(\text{Retroespalhamento}/10)}.$$

Para avaliar o efeito da órbita descendente com "Look up table" de imagem ascendente, um teste foi

realizado espelhando-se a imagem original (*mirror*) após a leitura da imagem e o mesmo procedimento de calibração relativa e efetuado.

Para a correção geométrica, os pontos de controle (PCs) foram coletados nas cartas topográficas na escala de 1:100.000. Os algoritmos utilizados para cada uma das etapas da orto-correção estão indicados na figura 2 (em *italico*). O modelo foi computado para cada imagem, e apenas os pontos de controle que apresentaram erro quadrático médio inferior a três vezes o erro quadrático médio total foram utilizados. As imagens foram reamostradas para pixels de 12,5 m utilizando filtros de eliminação de speckle e a imagem de modelo numérico de elevação.

Para a eliminação do ruído speckle, os filtros de mediana, Gama e Lee foram testados sobre as imagens, utilizando-se janelas de diferentes tamanhos.

A imagem TM/Landsat também foi orto-corrigida através do mesmo procedimento descrito para as imagens RADARSAT, utilizando interpolação bilinear. Para a integração, esta imagem também foi reamostrada para 12,5 m.

Para a integração de dados RADARSAT e TM/Landsat procedeu-se a transformação IHS, utilizando-se a composição TM bandas 3, 4 e 5 nos canais azul, verde e vermelho respectivamente. Para a conversão IHS-RGB, a banda de intensidade foi substituída pelas imagens RADARSAT gerando assim duas novas imagens híbridas TM-RADARSAT. Devido a presença de nuvens na imagem TM, o canal de matiz (H) não foi utilizado na transformação IHS-RGB, sendo substituído pelo canal de intensidade.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A imagem resultante da calibração radiométrica é apresentada na figura 3. Observa-se o aspecto ruidoso da imagem, demandando uma filtragem do speckle. Comparando-se a calibração radiométrica relativa realizada sobre a imagem original e sobre a imagem espelhada, observou-se uma diferença de 10% entre os valores de potência nas margens da imagem, e diferenças de 5% no região central da imagem. Esta diferença era esperada uma vez que a "Look up table" varia ao longo do imageamento ("range"). Para aplicações como integração de dados para posterior classificação, estas diferenças podem ser desconsideradas, o que não é válido para aplicações onde os valores de backscatter serão associados as medidas de campo.

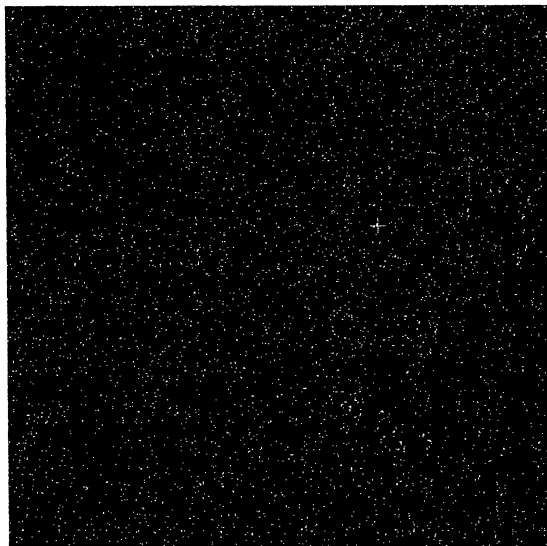


Figura 3 - Imagem potência SGF-F2 após calibração relativa

O filtro gama, com uma janela de 9x9 foi o que apresentou melhor resultado na eliminação de speckle, quando visualmente comparado com os outros filtros testados. Contudo pixels saturados ainda são observados na imagem (Figura 4). Estes pixels correspondem a valores de potência maiores que 1, o que poderia ser atribuído a alguma saturação no processo de geração da imagem e as variações do terreno como “double bounce” e efeitos de relevo. Esta observação é confirmada observando-se que mesmo após a aplicação de um filtro mediana, de janela de 11x11, estes pixels saturados continuam presentes.

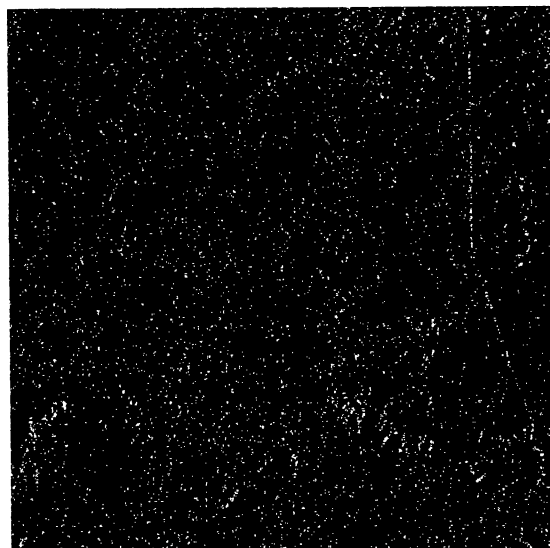


Figura 4 - Imagem SGF-F2 após filtro gama 9x9

As figuras 5 e 6 apresentam as imagens F2 e F5 respectivamente após a ortocorreção, com a utilização do filtro mediana para a interpolação. Comparando-se as imagens F2 e F5, observa-se que a rugosidade do dossel e o efeito de “double-bouncing” é mais evidente na imagem F5, devido ao maior ângulo de incidência. Por consequência, os limites entre feições da imagem como floresta e áreas desmatadas são evidenciados, indicando esta imagem como mais apropriada para interpretação visual, especialmente para identificar áreas de alterações na cobertura florestal.

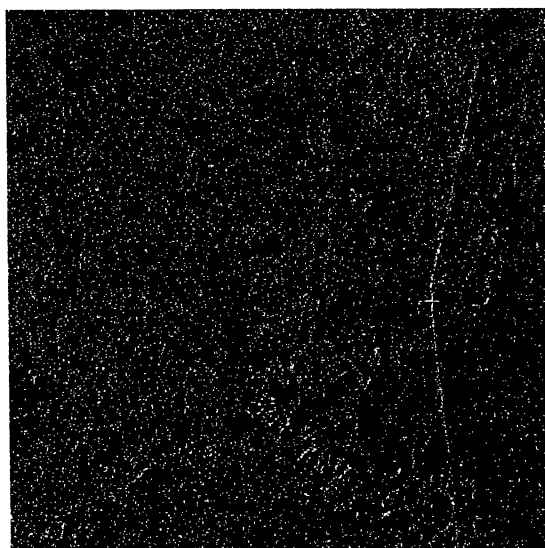


Figura 5- Imagem SGF-F2 após orto-correção

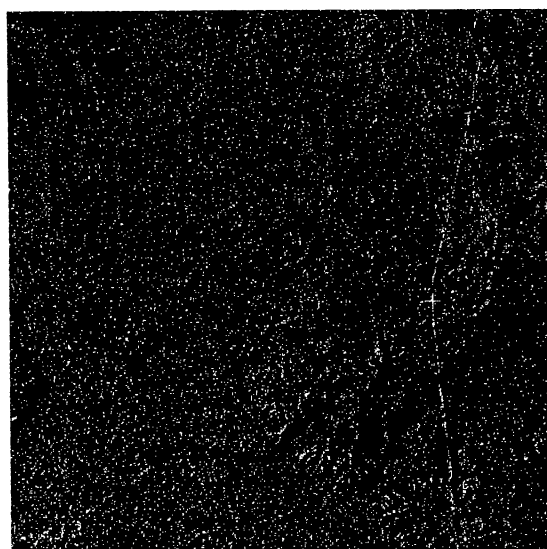


Figura 6- Imagem SGX-F5, após orto-correção

A figura 7 apresenta as imagens resultantes da ortocorreção integradas com a imagem TM/Landsat após a transformação IHS. Observa-se que algumas feições não estão completamente ajustadas, o que se deve ao caráter de correção global da imagem e não local. O mapa utilizado para a aquisição de pontos de controle apresenta uma precisão de 50 m. Os erros quadráticos dos resíduos computados para F2 e F5 foram de 37 m e 29 m respectivamente, e de 57,5 m para a imagem TM.

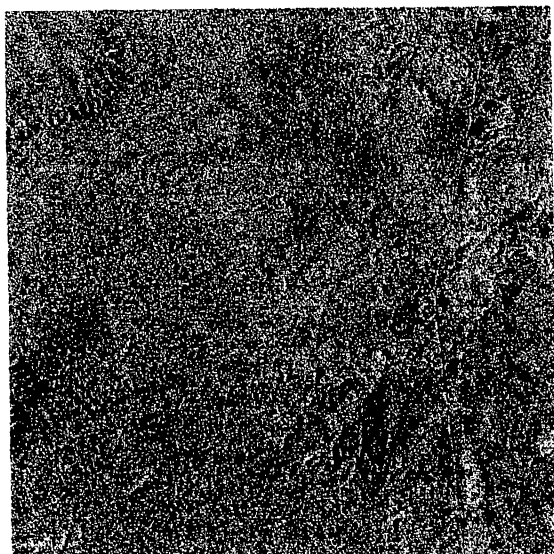


Figura 7 - Imagem SGX-F5 e TM/Landsat após IHS

O erro de posicionamento observado na imagem é de aproximadamente 2 pixels, ou seja 25 m, inferior à precisão da carta. Resultado este que supera as expectativas, considerando a dificuldade de localização de pontos de controle na área e a precisão da carta utilizada. Para que melhores resultados sejam obtidos na correção geométrica, aconselha-se a utilização de pontos de controle coletados com GPS diferencial no campo.

A informação tonal (espectral), introduzida com a imagem TM/Landsat, auxilia a interpretação das imagens e identificação dos alvos, antes apenas distintos pelos limites associados à variação de altura da cobertura vegetal. A identificação de feições nas imagens RADARSAT, como áreas de clareira e desmatamento, e variações das formações florestais é realçada após a integração com dados TM.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O procedimento de pré-processamento das imagens RADARSAT, calibração radiométrica relativa e ortocorreção geométrica, utilizando a modelagem geométrica com Modelo Numérico de Terreno foi apresentada. Este processo, apesar de demandar

tempo de processamento é fundamental para o uso das imagens para qualquer aplicação.

A integração com imagem TM/Landsat proporciona um produto mais apropriado para interpretação visual das imagens, facilitando o reconhecimento das diferentes coberturas.

De modo a otimizar a correção geométrica, aumentando a precisão de posicionamento, este procedimento deverá ser repetido utilizando-se pontos de controle adquiridos no campo, com precisão.

As imagens RADARSAT, pela característica da banda C, refletem a variação da estrutura superior da cobertura, do dossel no caso da cobertura florestal. A rugosidade do dossel será avaliada a partir de dados de campo, onde a variação da altura das árvores emergentes será modelada e comparada com a resposta obtida nas imagens. Esta análise proporcionará a avaliação da textura das coberturas florestais e orientará a extração de informações florestais a partir das imagens RADARSAT.

Acredita-se que estas imagens constituam uma valiosa fonte de dados para identificação da variação de dossel em áreas de floresta tropical, para auxiliar no manejo e/ou preservação destas áreas.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CIDA (Canadian International Development Agency) pelo suporte financeiro e pela oportunidade de apresentação deste trabalho.

9. REFERÊNCIAS

Hernandez Filho et al., 1993. Relatório Final: Projeto de Inventário Florestal na Floresta Nacional do Tapajós. Projeto de Cooperação Técnica desenvolvido pelo INPE/IBAMA/FUNATURA/IITO, INPE, São José dos Campos (INPE-5423-PRP-171).

Projeto RADAMBRASIL. Folha S/A 21 - Santarém. Rio de Janeiro, DNPM 1976. (Levantamento dos Recursos Naturais, v.10).

RADARSAT International, 1995. RADARSAT-Illuminated - Your guide to products and services.

Shepherd, N.W. and Associates., 1995. CDPF Output Data Calibration. Technical Note No. 4.2.

Toutin, T. 1995. Multisource data fusion with an integrated and unified geometric modelling. EARSil Advances in Remote Sensing. Vol.4, N2 - X., p. 118-129.