

IMAGEAMENTO INTERFEROMÉTRICO SAR/SIPAM: MÉTODOS E APLICAÇÕES

RAPHAEL DE OLIVEIRA BORGES¹
GUSTAVO MANZON NUNES²

Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia - CENSIPAM

¹Centro de Coordenação Geral – Brasília, DF

²Centro Técnico e Operacional - Porto Velho, RO
{raphael.borges, gustavo.nunes}@sipam.gov.br

ABSTRACT - The imaging with the synthetic aperture radar (SAR) has been widely used. Operating in the X and L bands, the SAR/SIPAM, presents in R-99B aircraft of the Brazilian air force, has many scientific applications and produce a large volume data. The interferometry is one of these applications. This technique is the simultaneous acquisition of two images, through two antennas, in one passage or two, separated by a distance known as the base line. The interferometric image is formed by the phase difference between the pixels in this two images, the phase of each pixel of the interferometric image is related to the elevation of the land, which enables the generation of a digital elevation model (DEM). The DEM generated by the SAR/SIPAM interferometry has spatial resolution of 5 meters and 5 meters of altimetric precision, a consistent pattern around a scale of 1:10.000. There are still many problems to be overcome, there are few imageamentos, but it is an important tool that still needs more studies and tests to evaluate their applications.

1 INTRODUÇÃO

O imageamento com os radares de abertura sintética (SAR), tem sido amplamente utilizado em diversas áreas de atuação e em diferentes aplicações, o que permitiu uma série de análises e melhores compreensões de questões envolvendo os recursos naturais e o meio ambiente.

Os sensores SAR são caracterizados por serem sensores ativos, abrangendo o intervalo de comprimento de ondas das microondas. Estes dados podem ser adquiridos independentes à cobertura de nuvens, fumaça e iluminação, tanto de dia como a noite e em qualquer época do ano, além disso, ainda possuem a capacidade de penetrabilidade no solo.

Presente nas aeronaves de sensoriamento remoto, R-99B, os sensores SAR/SIPAM têm grande relevância para aplicações científicas e produzem um grande volume e diversidade de dados. O SAR/SIPAM opera em duas frequências: Banda L (1.28 GHz) e Banda X (9.3 GHz). O subsistema da Banda L tem a capacidade de transmitir e receber tanto na polarização vertical quanto na horizontal. O subsistema da Banda X só transmite e recebe na polarização horizontal.

Existem duas antenas para a Banda L e duas para a Banda X. As antenas da Banda L são fixas, sendo uma utilizada para a aquisição no modo "Stripmap" com visada para a esquerda e a outra, para a aquisição neste modo, com visada para a direita. As antenas da Banda X são montadas em um pedestal abaixo da fuselagem da aeronave. Uma das antenas da Banda X (antena

monopulso) é utilizada para aquisição de dados nos seguintes modos: stripmap (com visada para a esquerda ou para a direita); SpotSAR; Wide Area Search (WAS) e Air-to-Air (A2A).

A outra antena da banda X (antena interferométrica - INSAR) é utilizada em conjunto com a antena monopulso para adquirir os dados interferométricos, objetos do presente trabalho.

2 O SISTEMA DE IMAGEAMENTO SAR/SIPAM

Concebido em proveito da missão do Sistema de Vigilância da Amazônia (SIVAM), o sensor encontra-se alocado em três aeronaves Embraer ERJ-145, denominadas de R-99B, pela Força Aérea Brasileira, sendo operadas pelo 2º Esquadrão do 6º Grupo de Aviação (2º/6º GA_v).

Além do sensor SAR, as R-99B são equipadas com os sensores de Varredura Multispectral (*MSS - Multispectral Scanner*) e Óptico e Infravermelho (*OIS - Optical and Infrared Sensor*). As R-99B são configuradas para a identificação e mapeamento de incêndios florestais, áreas desflorestadas, reservas indígenas, atividades irregulares, poluição hídrica e identificação noturna de objetos (Costa, 2007).

Os 25 modos de operação disponíveis para o SAR (utilizando as bandas X e L) são modos de visada lateral que realizam o mapeamento de faixas do terreno, como mostra a Figura 1. Para as faixas obtidas com a Banda L existem quatro polarizações disponíveis: HH, HV, VV, VH. Para a Banda X só existe a polarização horizontal

HH. A primeira letra designa a polarização transmitida e a segunda letra designa a polarização recebida (Andrade, 2005).

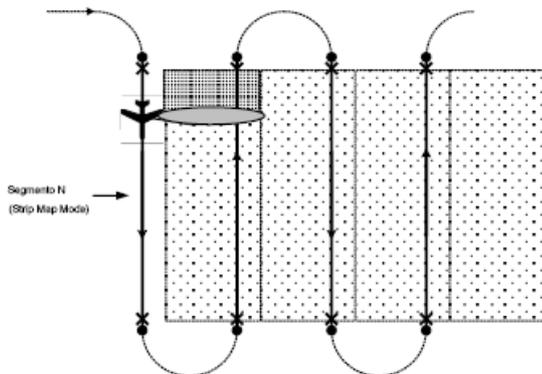


Figura 1 – Perfil de um mapeamento SAR em faixas, modo Strip Map Mode (Adaptado de Andrade, 2005).

As características comuns deste modo de mapeamento em faixas são as visadas laterais, produzindo uma imagem do solo, localizada ao lado do eixo de vôo da aeronave, com a área mapeada determinada pela geometria da altitude da aeronave, modo, resolução selecionada e distância máxima.

Além deste modo de imageamento, existem outros modos de vigilância SAR disponíveis: WAS; A2A e SpotSAR.

No modo WAS a antena da Banda X "varre" um setor de 60° ou 120° de abertura com a possibilidade de se selecionar o ângulo central para este setor (para onde a antena irá apontar). A imagem é processada utilizando-se a técnica "Doppler Beam Sharpening", sendo apresentada na forma de setores.

No modo A2A, a antena da Banda X é movimentada de um lado para outro entre 300° e 360°, centrados ao redor do "nariz" da aeronave. A antena é inclinada em direção ao horizonte para um máximo de cobertura.

No modo SpotSAR a antena da Banda X ilumina continuamente uma área alvo selecionada, a medida que a aeronave passa pela mesma. O resultado é um quadro de imagem de altíssima resolução (1,8 metro) atualizado a cada 10 a 20 segundos. Estes quadros de imagem do modo SpotSAR são atualizados até que a aeronave esteja fora do alcance ou fora do campo de visão do alvo (Andrade, 2005).

Os dados SAR coletados são armazenados em fitas de alta densidade (fitas DCRsi), sendo um dos canais selecionado para ser apresentado, em tempo real, em um monitor de alta resolução a bordo da aeronave. O canal exibido pode ser capturado para análise detalhada, impressão em uma impressora de alta definição e/ou transmissão.

Os parâmetros adotados para cada imageamento, dependem do objetivo de cada missão. As demandas mais frequentes compreendem a resolução espacial de 6 m, nos seguintes parâmetros: Quad L + X, ou seja, quatro

polarizações da Banda L e uma polarização da Banda X e Dual L + X, que corresponde a duas polarizações da Banda L e uma da banda X.

No que se refere à interferometria, o modo InSAR é um modo especial de imageamento de faixa na Banda X que permite medidas de altura utilizando informações de diferença de fase de duas antenas receptoras: uma monopulso e uma interferométrica, que recebem o sinal, em uma passagem, refletido a partir de dois ângulos de aquisição ligeiramente diferentes.

3 INTERFEROMETRIA SAR

O termo interferometria é derivado da palavra interferência, que expressa um fenômeno resultante da interação entre ondas de qualquer tipo. A primeira medida de elevação na Terra, obtida por interferometria de imagens de radar aerotransportado, foi realizada por Graham (1974). Posteriormente, Zebker e Goldstein (1986) e Gabriel e Goldstein (1988) propuseram e demonstraram com sucesso a geração de mapas topográficos a partir de Interferometria SAR.

Segundo Mura (2000), a técnica de Interferometria SAR, consiste da aquisição simultânea de duas imagens, através de duas antenas, separadas por uma distância conhecida como linha-base.

É uma técnica que utiliza um par de imagens SAR no formato complexo, de amplitude e fase, para gerar uma terceira imagem complexa, dita imagem interferométrica, cuja fase de cada pixel, dita fase interferométrica, é formada pela diferença de fase entre os pixels correspondentes nas duas imagens originais (Mura, 2000).

A fase de cada pixel da imagem interferométrica está relacionada com a elevação do terreno, correspondente a célula de resolução no solo, possibilitando com isso a geração de um Modelo Digital do Terreno (MDT).

A aquisição de um par de imagens para a geração da fase interferométrica pode ser conseguida, tanto se utilizando duas antenas na mesma plataforma (interferometria de uma passagem), como é o caso das aeronaves R-99B, separadas pela linha-base, como se utilizando uma antena, aerotransportada ou orbital, com duas passagens sobre a mesma área, procedimento este conhecido como interferometria de duas passagens. Nesse caso a linha-base depende da distância entre as duas passagens. A Figura 2 ilustra os dois modos utilizados em interferometria SAR.

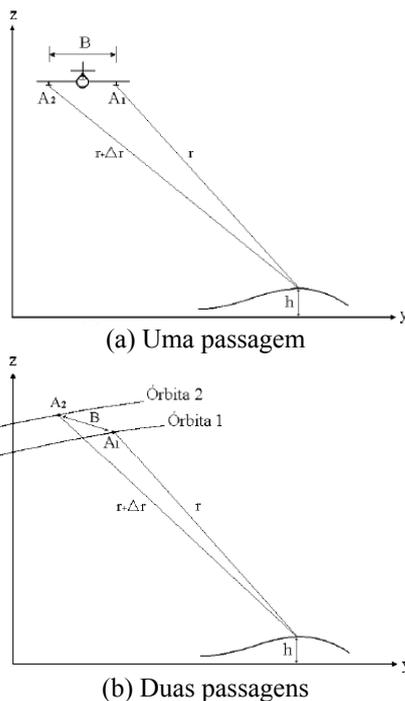


Figura 2 – Modos de aquisição utilizados em interferometria SAR

A obtenção da fase interferométrica depende primeiramente do registro preciso, da ordem de sub-pixel, das imagens complexas. Como, em geral, existe uma alta correlação entre as duas imagens, métodos automáticos podem ser empregados.

A imagem de fase interferométrica, também conhecida como interferograma, apresenta padrões do tipo franjas, que correspondem a padrões de interferência que aparecem devido a variação na elevação do terreno, devido ao caráter cíclico da fase (módulo de 2π).

Para que a fase interferométrica possa ser utilizada na geração de MNT, o seu caráter cíclico deve ser removido, ou seja, ela deve passar por um processo de desdobramento (Mura, 2000). Processo este de transformação da fase relativa (módulo de 2π) em fase absoluta, também chamado de “phase-unwrapping” (Goldstein e Zebker, 88).

Para que se consiga uma boa qualidade dos produtos gerados através da técnica de Interferometria de imagens SAR aerotransportadas, é necessária uma combinação precisa da compensação de movimento das plataformas, e do exato georreferenciamento das imagens, conseguido através do uso de sistema de navegação de última geração e de GPS diferencial, “Diferential Global Positioning System” (DGPS) (Mura, 2000).

4 CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DE IMAGEAMENTOS INSAR/SIPAM

Conforme visto, dentre todas as possibilidades de utilização do sistema acoplado na aeronave R-99B, está o

InSAR que permite a geração de um MDT, pelo uso das antenas da banda X, com comprimento de onda da ordem de 3cm.

O MDT gerado a partir dos dados interferométricos das aeronaves R-99B, apresentam 5 metros de resolução espacial e também 5 metros de precisão altimétrica nominal, ou seja, em uma aplicação prática poderiam ser retiradas curvas de nível com intervalo altimétrico mínimo de 5 metros, um padrão de MDT compatível aproximadamente a uma escala de 1:10.000.

Ressalta-se que este modelo é relativo. O valor de 5 metros é válido apenas em relação aos demais pontos do MDT. Para utilizar valores absolutos é necessário utilizar um ponto de referência no solo. Assim, para uma adequação do modelo, se faz necessária a coleta de pontos de controle em campo para posterior correção.

4.1 Exemplos de aplicações e problemas verificados

Como exemplo de produto de imageamento já efetuado com o InSAR/SIPAM, destaca-se o sobrevôo de imageamento efetuado no entorno da cidade de São José dos Campos, SP.

Sobrevôo este realizado a fim de testes para a calibração dos sensores das aeronaves R-99B. O MDT gerado a partir dos dados interferométricos colhidos nesta missão, serve então, apenas para estudos e testes, e não para utilização efetiva em projetos e trabalhos.

Sua escolha como exemplo deste tipo de dado se deu pela baixa disponibilidade, devido aos poucos imageamentos interferométricos já efetuados pelo R-99B.

Na Figura 3, observa-se a faixa de MDT referida, e algumas características extraídas via processamento topográfico, tais como: imagem sombra, drenagens, curvas de nível e o realce de alguns problemas detectados no modelo gerado.

A imagem sombra do relevo, extraída para que se realçassem as feições de relevo, nos mostra algumas feições de face “lisa”, este problema ocorre devido ao fato da aquisição lateral no imageamento, estas áreas correspondem às áreas de sombras, que como não imageadas não apresentam valores altimétricos.

O algoritmo de geração do MDT, para corrigir este problema, gera uma interpolação por grade triangular a partir dos pontos que possuem valor, no entorno da sombra, daí o padrão de estrutura “lisa”, pois as rugosidades oriundas da interação entre a onda e a superfície desaparecem, justamente pela falta desta interação.

As outras feições destacadas correspondem às drenagens extraídas do MDT, a partir da extração automática das linhas de acumulação de fluxo de escoamento superficial, e as curvas de nível retiradas em equidistância de 5 metros.

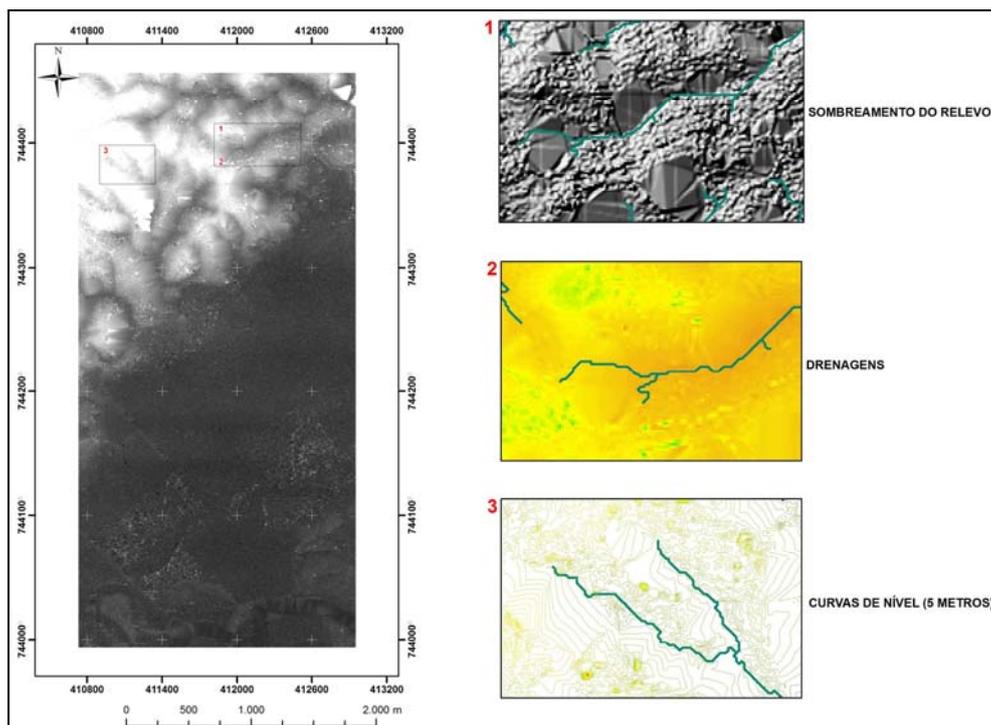


Figura 3 – Modelo Digital do Terreno InSAR, da região de São José dos Campos e feições selecionadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A técnica interferométrica está sujeita a um grande número de fatores físicos que podem contribuir para a qualidade final do produto obtido. Os fatores que podem afetar o processamento interferométrico estão associados às características do sistema, do alvo e do processamento.

Os fatores relacionados ao sistema estão associados ao vetor de estado, ao ruído de receptor do radar, a decorrelação espacial e temporal. Ao processamento, se refere às características do algoritmo, a qualidade do registro e ao desdobramento da fase.

A declividade do terreno, aspecto, tipo de cobertura e uso do solo, são fatores associados ao alvo que podem afetar a qualidade do MDT interferométrico.

Como vimos, existem ainda muitos problemas que devem ser superados. Até o momento, poucos imageamentos no modo InSAR/SIPAM foram acionados, tratando-se assim de uma ferramenta de suma importância e com um alto grau de refinamento, mas que ainda carece de mais estudos e testes que avaliem suas aplicações.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, N. S. O.; SANTA ROSA, A. N. **O novo sistema SAR multipolarimétrico aerotransportado brasileiro**. In: 1ª Reunião de Coordenação das Atividades de Planejamento, Execução e Produção de Imagens de Missões de Sensoriamento Remoto Realizadas Pelas aeronaves R-99 B e R-95. Brasília, DF. CD-Rom. 24p. 2005.

COSTA S.S., CAMPOS M. A. A., ROGERIO A. P. C. **Imageamentos realizados pelo sistema aerotransportado SAR/SIPAM**. [CD-ROM] In: XIII Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, Florianópolis, 2007. Anais ... Florianópolis, 2007. p. 6661-6665.

GABRIEL, A. K.; GOLDSTEIN, R. M. **Crossed orbits interferometry: Theory and experimental results from SIR-B**. International Journal of Remote Sensing, v. 9, n. 5, p. 857-872, 1988.

GOLDSTEIN, R. M.; ZEBKER, H.; WERNER, C. L. **Satellite radar interferometry: Twodimensional phase unwrapping**. Radio Science, v. 23, n. 4, p. 713-720, Aug. 1988.

GRAHAM, L. C. **Synthetic interferometer radar for topographic mapping**. Proceeding of the IEEE, v. 62, n. 6, p. 763-768, June 1974.

MURA, J. C. **Geocodificação automática de imagens de radar de abertura sintética interferométrico: Sistema Geo-Insar / J.C. Mura**. – São José dos Campos: INPE, 2000. 159p. - (INPE-8209-TDI/764).

ZEBKER, H.; GOLDSTEIN, R. M. **Topographic mapping from interferometric synthetic aperture radar observations**. Journal of Geophysical Research, v. 91, n. B5, p. 4993-4999, April 1986.