

Metodologias e Resultados Preliminares do Projeto Radiografia da Amazônia

Antonio Henrique Correia

Diretoria de Serviço Geográfico do Exército
Quartel General do Exército, Bloco F, 2º andar – SMU – Brasília-DF, CEP 70.630-901
aidafc@terra.com.br

Abstract. The Amazon is a region of great economic and strategic interest to Brazil that possessed inadequate cartographic information for sustainable development in that region. In this way, the federal government made in 2008 the Terrestrial Cartography Subproject in order to map the area of 1.8 million km² that has no appropriate land mapping information and is usually called the "Cartographic Blank of the Amazon". In this context, the purpose of this paper is to show methodologies for airborne synthetic aperture radar (SAR), in X and P bands, field support and the feature extraction and cartographic production for topographic mapping, on the 1:100,000 and 1:50,000 scales, which is being used in the aforementioned subproject, also known as "Amazon Radiography". The airborne and field support methodologies presented is being used successfully by the Geographic Service of the Brazilian Army (DSG), in the context of the aforementioned project, which allowed up to now the whole covering an area of approximately 950,000 km². The methodology of cartographic production presented is being used by DSG, for generating almost 20 thousand cartographic products (planimetry and altimetry), like the topographic maps at 1:100,000 scale, ortho-images with curves level and drainage, digital surface model (DSM), digital terrain model (DTM), digital model of forest height and digital files of stratification vegetable in the scale of 1:50,000.

Palavras-chave: Radar, Synthetic Aperture, remote sensing, Amazon, mapping, Radar, Abertura Sintética, sensoriamento remoto, Amazônia, mapeamento.

1. Introdução

A Amazônia Legal é uma região de grande interesse econômico e estratégico para o Brasil, abrangendo uma área total de 5,2 milhões de km², dos quais cerca de 1,8 milhões de km² não possuem, até hoje, informações cartográficas terrestres adequadas em escalas maiores que 1:250.000, sendo conhecida como região do "vazio cartográfico". O deficiente mapeamento existente é composto por documentos cartográficos que não representam as feições planialtimétricas no nível do solo, e sim no nível da copa das árvores.

A solução tecnológica para viabilizar o mapeamento do terreno, localizado abaixo da constante camada de nuvens e do dossel da densa floresta amazônica, com o mínimo esforço de apoio de campo, é baseada no uso combinado de Radar de Abertura Sintética (SAR) Interferométrico na banda P, que permite a penetração no dossel e a interação da onda no nível do solo, com sistemas de geoposicionamento por satélite (GPS) e de navegação inercial.

Os bons resultados obtidos recentemente em aplicações cartográficas baseadas no uso da tecnologia de radares interferométricos, nas bandas X e P (DSG, 2000; Dutra et al., 2002), aliado ao grande interesse no mapeamento da Amazônia, foram decisivos para a aprovação, no ano de 2008, do Subprojeto Cartografia Terrestre (CENSIPAM, 2008), também conhecido como Projeto Radiografia da Amazônia.

O referido projeto, sob a responsabilidade de execução da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG), tem por objetivo a elaboração de aproximadamente 20.000 produtos cartográficos (cartas topográficas, ortoimagens SAR, Modelos Digitais de Elevação, etc.) e de estratificação vegetal, nas escalas de 1:100.000 e de 1:50.000, da região do vazio cartográfico da Amazônia Legal, com a seguinte subdivisão: mapeamento planialtimétrico de 1.142.000 km² em áreas de floresta tropical densa (Figura 2a), a partir do aerolevantamento SAR interferométrico, nas bandas X e P, que está sendo executado pela empresa Orbisat da Amazônia S/A; e mapeamento planialtimétrico de 658.000 km² em áreas de não-floresta (campos naturais e áreas antropizadas), a partir do aerolevantamento SAR interferométrico, nas bandas X e L, que será executado pela Força Aérea Brasileira com as aeronaves R99-B.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é descrever as metodologias empregadas e os resultados obtidos nas fases de aerolevanteamento SAR, executada pela empresa Orbisat, e de apoio de campo e de produção cartográfica, executadas pela DSG, para obtenção do mapeamento planialtimétrico em áreas de floresta densa do Vazio Cartográfico da Amazônia.

2. Metodologias de Aerolevanteamento SAR e de Apoio de Campo

2.1. Fase de Reconhecimento Aéreo

Tem por finalidade a escolha dos prováveis locais, sem cobertura vegetal e com acesso por via fluvial, para instalação dos refletores de canto triédricos, que são empregados na fase de pré-sinalização do vôo radar. Com base no reconhecimento aéreo é possível minimizar os esforços necessários para a execução do trabalho de campo, que foi totalmente adaptado às dificuldades logísticas e naturais da Região Amazônica.

2.2. Fase de Determinação de Estações de Referência

Destina-se à determinação de alta precisão, por medição DGPS, das coordenadas planialtimétricas dos pontos de apoio (estações de referência) ao vôo radar. Esses pontos são selecionados previamente ao vôo, materializados em aeródromos definidos como bases de operações e obtidos por intermédio do transporte de coordenadas de pontos da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). Simultaneamente ao vôo, essas estações (segmento de terra), são ocupadas com rastreadores DGPS, com a finalidade de processar, logo após o vôo, os dados do sistema inercial e do DGPS do segmento de vôo, para obtenção da orientação e posição de um determinado ponto do feixe da antena com uma precisão da ordem de 5 cm.

2.3. Fase de Pré-Sinalização do Vôo por Radar

Consiste na determinação de alta precisão, por medição DGPS, das coordenadas planialtimétricas do vértice de nove refletores de canto triédricos, formados por triângulos retângulos de alumínio com lados medindo 1,41 m, 1,41 m e 2,00 m, que são instalados previamente ao vôo radar com o objetivo de serem empregados como pontos de controle (Figura 1c) no cálculo do *offset* da fase interferométrica. Esses nove refletores, que constituem um *set de corners*, são instalados em locais sem vegetação (Figura 1a) e/ou sobre plataformas aquáticas (Figura 1b), a intervalos de 300 a 1.200 m ao longo da direção radial de vôo, e dispostos, em média, a cada 120 km ao longo da linha de vôo (Figura 1d).

2.4. Fase de Aerolevanteamento SAR

Destina-se a execução do imageamento SAR, nas bandas X e P, para obtenção dos dados brutos de radar. Para minimizar a influência dos problemas climáticos e operacionais sobre qualquer aerolevanteamento realizado na Amazônia, de modo a maximizar a produção diária de vôo, a área a ser voada é dividida, sempre que possível, em blocos de 1° x 1° (Figura 2b). Esse procedimento de vôo compreende as seguintes etapas: na primeira, com a finalidade de possibilitar o georreferenciamento das imagens SAR das faixas leste-oeste, são voadas as faixas de imageamento na direção norte-sul (Figura 1e), denominadas de *corners track*, com largura de 14 km (direção radial) e com comprimento de até 220 km (direção azimutal), que engloba os refletores que foram instalados previamente ao vôo (Figura 1d); na segunda, são voadas as faixas na direção leste-oeste (Figura 1f), com largura radial de 14 km e com comprimento de até 180 km, que recobrem toda a área a ser mapeada.

Com a finalidade de reduzir o número inicialmente previsto de 1.296 refletores a serem instalados como pontos de controle, e por consequência, reduzir os custos do projeto, foram iniciados os testes para adoção de um novo método de calibração da fase interferométrica desenvolvido por Mura (2000), denominado de autocalibração. O novo método tem por

finalidade a determinação automática do *offset* da fase interferométrica sem o uso de refletores. Para tal, é necessário adquirir imagens interferométricas SAR (InSAR) de uma determinada área no terreno, com visadas distintas. Portanto, a metodologia de voo descrita anteriormente não foi modificada, apenas com a realização do imageamento dos *corners tracks* tanto no voo ascendente (sentido norte) quanto no voo descendente (sentido sul), o que implicará na redução do número de *set de corners* a serem instalados.

Com base nos primeiros resultados apresentados na Seção 4.2, existe a previsão de empregar os refletores apenas como pontos de controle planialtimétrico do projeto e não mais como pontos necessários para a realização do processo de calibração da fase interferométrica.

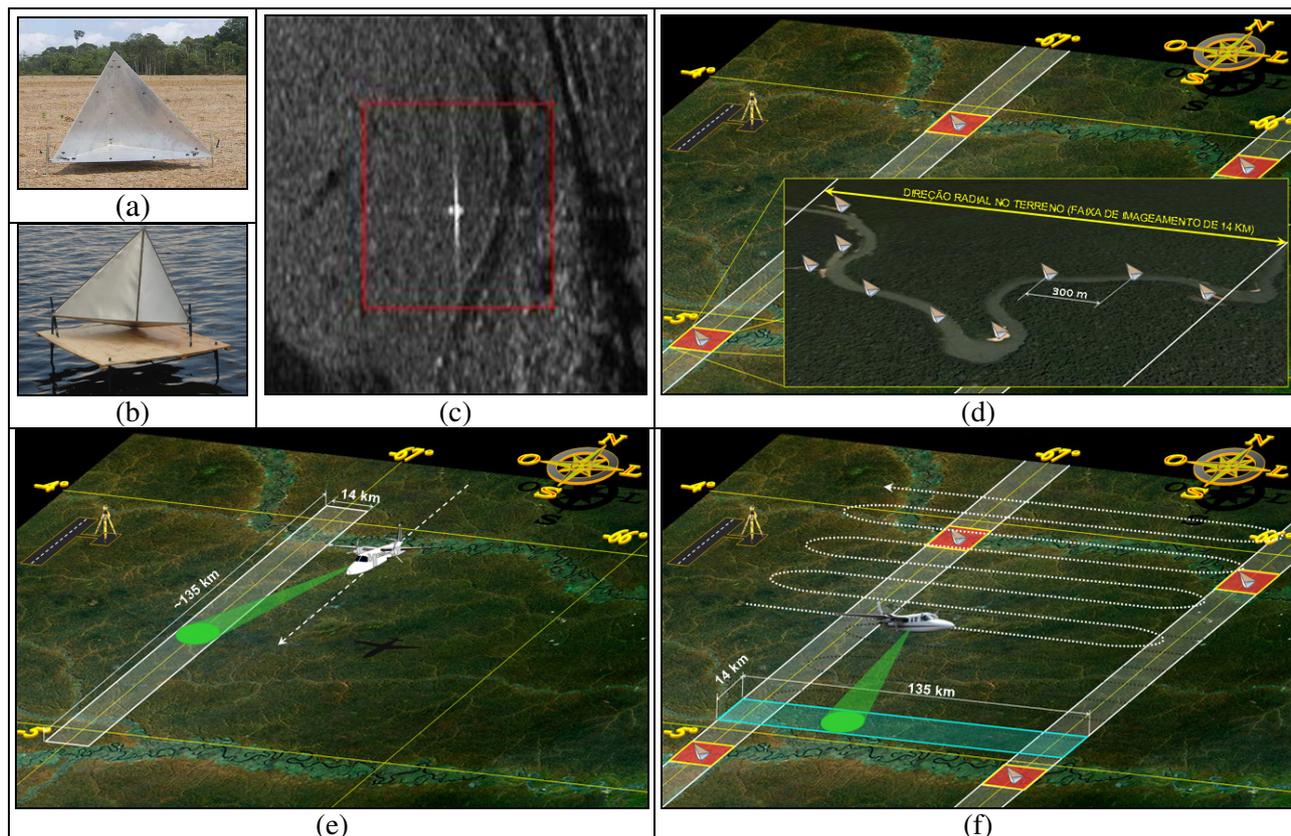


Figura 1. Refletor instalado em (a) um local ideal e (b) sobre uma plataforma aquática, (c) exemplo de um sinal típico de um refletor em uma imagem SAR e metodologia de (d) sinalização do voo radar e imageamento SAR nas direções (e) norte-sul e (f) leste-oeste.

2.5. Fase de Transcrição dos Dados Brutos de Radar

É executada durante a fase de aerolevantamento, imediatamente após a campanha diária de voo, com a finalidade de validação da qualidade dos dados obtidos, geração dos dados radar originais e dos dados do sistema de navegação para cada linha de voo da área mapeada. Para tal, é empregado um sistema de transcrição portátil, composto por equipamento, destinado à conversão dos dados brutos para o formato padrão de processamento SAR, e por aplicativos que executam a análise da qualidade de diferentes variáveis do sistema sensor (ex: intensidade e fase do sinal transmitido e recebido pelo radar, coerência, posição e orientação da aeronave) e geração de imagens SAR para pequenos trechos de cada linha de voo.

3. Metodologia de Produção Cartográfica

3.1. Fase de Processamento dos Dados Brutos SAR

Consiste da geração dos insumos, com resolução espacial de 5 m, que são empregados nas fases seguintes da produção cartográfica. Na primeira etapa do processamento SAR, a partir dos dados brutos de radar, são gerados pares de imagens do tipo *single-look complex* (SLC) monopolarizadas, na banda X (polarização HH), e multipolarizadas, na banda P (HH, HV e VV). Com base nessas imagens complexas são geradas as ortoimagens SAR, as imagens de coerência interferométrica e os Modelos Digitais de Superfície (MDS) e do Terreno (MDT), que representam as variações altimétricas, respectivamente, no nível da copa das árvores (banda X) e no nível do solo (banda P), mesmo em áreas de floresta densa.

3.2. Fase de Extração das Feições Cartográficas

É baseada na aplicação de técnicas de processamento digital e interpretação visual de imagens, para aquisição das feições cartográficas de vegetação, hidrografia, planimetria e altimetria, conforme descrito abaixo, empregando-se os seguintes insumos: ortoimagem (amplitude) da banda X em 8 *bits*, na polarização HH (ORI X-HH); ortoimagem (amplitude) da banda P em 8 *bits*, na polarização HH (ORI P-HH); ortoimagem (amplitude) da banda P em 8 *bits*, na polarização HV (ORI P-HV); ortoimagem (amplitude) da banda P em 8 *bits*, na polarização VV (ORI P-VV); imagem de coerência interferométrica da banda X (COH X) em 8 *bits*; imagem de coerência interferométrica da banda P (COH P) em 8 *bits*; MDS; e MDT.

3.2.1. Vegetação

A fase de extração das classes temáticas de vegetação, que compreendem as classes de uso e cobertura do solo, envolve a aplicação das técnicas de transformação por componentes principais, segmentação e classificação. As definições das fisionomias florestais utilizadas na etapa de classificação são baseadas nas informações contidas nos mapas temáticos fitoecológicos do Projeto RADAMBRASIL, tais como: campinarana arbórea, campinarana arbustiva, florestas primárias alagadas ou aluviais e florestas primárias de solo firme ou ombrófilas densa. As outras classes de interesse se referem às áreas antropizadas (floresta secundária, cultivo, pastagem, etc.).

O método de obtenção das feições de vegetação é baseado no processamento das componentes principais das imagens ORI e COH de 8 bits, do MDS e do MDT, empregando-se a ferramenta *Feature Extraction*, do módulo *ENVI Zoom*, do programa ENVI (ITT, 2008), conforme descrito na Seção 4.3. A imagem classificada é editada com a eliminação de áreas não representáveis na escala de trabalho, a inserção de pequenas áreas que não foram discriminadas pelo classificador e a redefinição de *pixels* para a sua verdadeira classe.

3.2.2. Hidrografia

A partir do MDS e do MDT corrigidos das imperfeições ocorridas durante a fase de processamento, é construída uma máscara considerando os *pixels* com valores iguais a -9999 (*dummy data*), que correspondem as áreas onde o sinal retroespalhado pelos alvos praticamente não retornou ao radar e foi perdido por reflexão especular (regiões de corpos d'água, por exemplo) ou em áreas não imageadas (regiões de sombra ao sinal de radar). Após a filtragem, a eliminação de áreas não representáveis na escala de trabalho e a suavização de polígonos da máscara, são obtidas as feições hidrográficas do tipo polígono. A extração das feições hidrográficas do tipo linha é realizada de modo semi-automático pelo programa RiverTools (RIVIX, 2009), que considera a direção do fluxo de drenagem e o fluxo de drenagem acumulado em cada célula do MDT.

3.2.3. Planimetria

Atualmente, não existe nenhum aplicativo que identifique automaticamente, com resultados satisfatórios, as feições lineares sobre as imagens, extraindo-se ao final, o

respectivo vetor. Desta forma, o método de interpretação visual é empregado para a extração das feições de planimetria, colocando-se as ortoimagens SAR como “pano de fundo” para que o operador digitalize em tela as feições de interesse (ex: arruamentos que são de fácil identificação na imagem, limite de novas áreas urbanas originadas de localidades, vilas e povoados, novas estradas e campos de pouso).

3.2.4. Altimetria

O MDT corrigido é fatiado, em intervalos de 10 m, para extração das feições altimétricas vetoriais do tipo linha, que correspondem às curvas de nível do terreno com equidistância igual ao referido intervalo. Em seguida, é realizada a suavização dos vetores para eliminar o aspecto recortado das linhas, que acompanham a forma quadrada do *pixel* do MDT. Além das curvas de nível, o MDT é empregado para extração das feições do tipo ponto cotado, que são capturadas em locais onde se faz necessário conhecer a altitude do terreno (ex: elevações, depressões e regiões planas).

3.3. Fase de reambulação

Tem por finalidade a execução do trabalho de campo para a coleta de topônimos, informações e dados relativos aos acidentes naturais e artificiais do terreno e a confirmação da correspondência entre as feições que foram interpretadas pelo operador e/ou classificadas por técnicas de processamento digital e a verdade no terreno. Ainda nesta fase, é realizada a determinação, por medição DGPS e pelo uso de estação total, das coordenadas planialtimétricas de feições que não foram identificadas nas imagens e de grades irregulares contendo, no mínimo, 100 de pontos de controle, em áreas de floresta e não-floresta, para classificação dos produtos segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC).

3.4. Fase de Elaboração de Produtos Cartográficos

É a última fase do processo de produção cartográfica. Fazem parte dessa fase a validação dos elementos geométricos e topológicos adquiridos, bem como a edição vetorial, confecção do layout ou da moldura da carta, inserção de toponímias, legendas e informações marginais da folha e desenho cartográfico, de acordo com normas legais vigentes no Brasil, elaboradas pela DSG e homologadas pela Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR, 2009).

4. Resultados Obtidos

4.1. Aerolevantamento SAR

Até o presente momento, a fase de aerolevantamento SAR do projeto em tela, que teve início em setembro de 2008, resultou no recobrimento da ordem de 950.000 km² de área de floresta densa (Figura 2a), além dos 58 *set de corners* já implantados e das faixas norte-sul já voadas, o que produziu um volume de dados brutos armazenados em 540 unidades de disco rígido de 1 TB (originais e cópias). Com o emprego simultâneo de duas aeronaves no início de 2011, será possível completar, até o final do 1º semestre de 2011, o imageamento SAR da área restante de 192.000 km², referente às linhas de vôo leste-oeste. Com o aumento das equipes de instalação de refletores e a consolidação da metodologia de autocalibração descrita na Seção 2.4, pretende-se concluir todo o apoio de campo e imageamento das faixas norte-sul até o final de 2011, antecipando em 12 meses o prazo para conclusão do aerolevantamento.

4.2. Processamento SAR

A fase de processamento dos dados brutos de radar para geração dos insumos do projeto (ortoimagens, MDS e MDT) está inserida em um processo de transferência de tecnologia da empresa Orbisat para a DSG. Devido ao tempo mínimo requerido para capacitar o pessoal

envolvido nessa fase e aos atrasos ocorridos na montagem da estrutura de processamento da DSG, apenas 3 blocos foram integralmente processados, desde março de 2010 até o presente momento. Isso equivale à geração dos referidos insumos para uma área de apenas 37.000 km², conforme apresentado na Figura 2b. Em 2011, pretende-se atingir a meta de 3 blocos por mês, com o objetivo de concluir, até 2014, todo o processamento da área de 1.142.000 km².

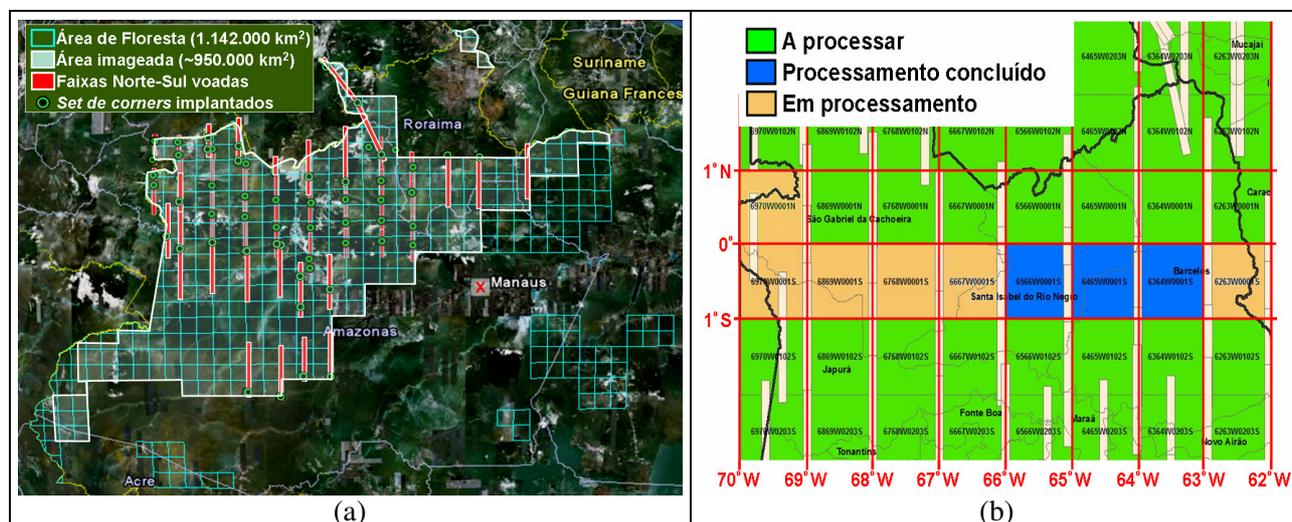


Figura 2. Estágio atual das fases de (a) aerolevanteamento SAR e de (b) processamento dos blocos referentes às áreas de floresta tropical densa do Projeto Radiografia da Amazônia.

Com a finalidade de testar a metodologia de autocalibração descrita na Seção 2.4, foi realizada a geocodificação SAR de um *corner track*, que foi imageado nos sentidos ascendente e descendente de vôo, aplicando a correção do *offset* da fase interferométrica pelo método tradicional (*Phase-Cal*), com o uso do *set de corners* de uma das extremidades desse *corner track* (Figura 1d), e pelo método de autocalibração (*Auto-Cal*). Com base nos modelos digitais obtidos por esses métodos, para as bandas X e P, foram calculadas as diferenças entre as altitudes extraídas dos modelos e as medidas de campo para os refletores do *set de corner* da outra extremidade do *corner track*, cujos resultados obtidos estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Diferenças nas altitudes dos refletores com os métodos *Phase-Cal* e *Auto-Cal*.

Parâmetros	Banda X		Banda P	
	<i>Phase-Cal</i>	<i>Auto-Cal</i>	<i>Phase-Cal</i>	<i>Auto-Cal</i>
Diferença Máxima	4,9259 m	4,7889 m	2,0475 m	2,1218 m
Diferença Mínima	0,1020 m	-0,0231 m	-0,0500 m	0,0118 m
Diferença Média	2,2701 m	2,1378 m	0,7641 m	0,8265 m
Desvio Padrão	1,4720 m	1,4709 m	0,6999 m	0,7094 m

Analisando os resultados apresentados na Tabela 1, pode-se concluir que, os valores do desvio padrão das diferenças entre as altitudes, nas bandas X e P, foram menores a 6,66 m, que corresponde ao erro-padrão altimétrico de 1/3 da equidistância entre curvas de nível de 20 m, na escala de 1:50.000 (PEC altimétrico Classe A). Portanto, concluiu-se que os resultados preliminares obtidos com o método de autocalibração são promissores no sentido de realizar a calibração da fase interferométrica sem o uso dos refletores.

4.3. Elaboração dos Produtos Cartográficos

Para ilustrar os primeiros resultados obtidos com a metodologia de extração das feições cartográficas descrita anteriormente, foi selecionada a área de estudo localizada entre as

latitudes $00^{\circ} 45' S$ e $01^{\circ} 00' S$ e longitudes $63^{\circ} 00' W$ e $63^{\circ} 15' W$, de uma região situada a noroeste do aglomerado urbano da cidade de Barcelos/AM, Região Norte do Brasil. Este enquadramento corresponde à folha SA-20-V-B-VI-4 (MI 306-4), em escala 1:50.000, do Mapeamento Sistemático Brasileiro. Inicialmente, foram obtidas as componentes principais (PCi) das imagens ORI e COH de 8 bits da área de estudo. Em seguida, com base no MDS (Figura 3a) e no MDT (Figura 3b), foi obtida a imagem altura da vegetação dh (Figura 3d), que possui grande relevância no processo de separação das fisionomias florestais, por se tratar de uma medida direta da altura da vegetação.

Além da imagem dh , foram obtidas as imagens da média (Figura 3c) e da variância (Figura 3e) da 1ª componente principal (PC1), que são empregadas como dados de entrada para a fase de extração das classes de interesse, por intermédio da aplicação da técnica de segmentação. Na Figura 3f é apresentada a composição colorida das imagens da média e da variância da PC1 e da altura da vegetação, que foram associadas, respectivamente, aos canais do vermelho (R), do azul (B) e do verde (G). A partir dessas três imagens, foram realizadas as etapas de segmentação interativa da composição colorida RGB (Figura 3g), agrupamento (*merge*) interativo dos polígonos gerados (Figura 3h), em função da supersegmentação obtida, e a classificação final da imagem. Com base na imagem classificada, foi realizada a exportação dos contornos das classes de interesse para arquivos vetoriais, que irão compor a categoria de vegetação das cartas topográficas (Figura 3i).

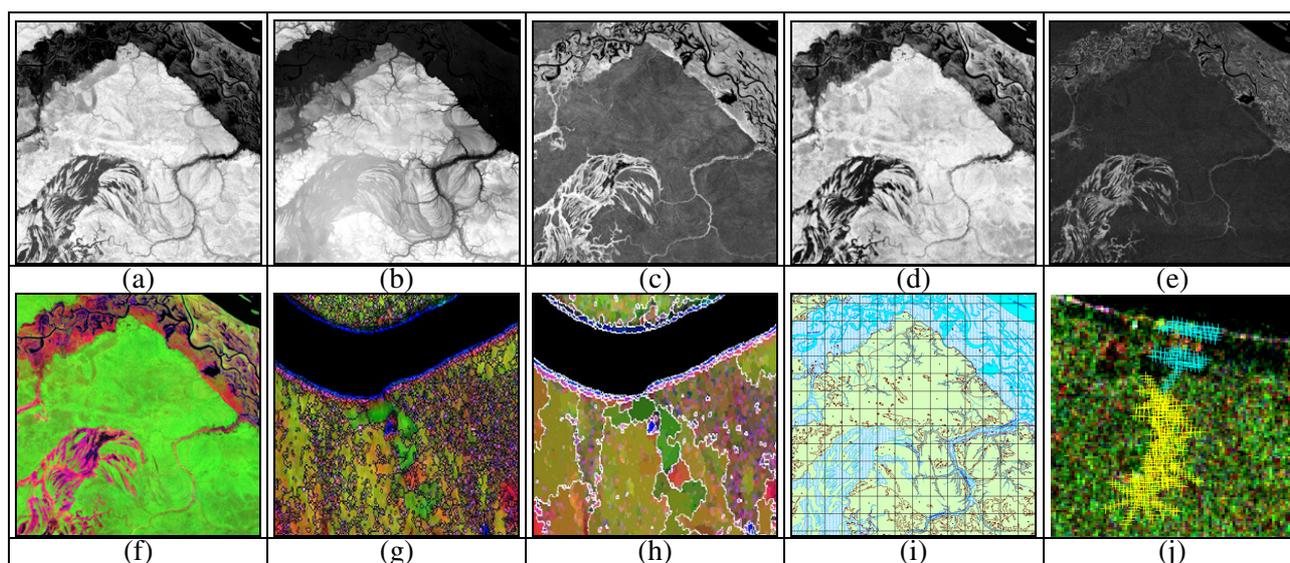


Figura 3. (a) MDS, (b) MDT, (c) média da componente principal PC1 [R], (d) altura da vegetação – dh [G], (e) variância da componente principal PC1 [B], (f) composição colorida [R][G][B], segmentação interativa (g) antes e (h) depois do ajuste dos atributos, (i) carta topográfica de Barcelos/AM na escala de 1:50.000 e (j) grade irregular de pontos de controle.

4.4. Avaliação Preliminar dos Produtos Cartográficos

Com o objetivo de obter a primeira classificação dos insumos do projeto segundo o PEC, foi executado o levantamento em campo de 3 grades irregulares de pontos de controle, em áreas de floresta e não-floresta, conforme o exemplo apresentado na Figura 3j, para avaliação da precisão altimétrica do MDT. Para tal, foram calculadas as diferenças entre as altitudes extraídas do MDT do bloco 6364w0001s e as medidas de campo para todos os pontos dessas grades, cujos resultados obtidos estão descritos na Tabela 2.

Da análise dos resultados apresentados na Tabela 2, pode-se concluir que, os valores do desvio padrão das diferenças entre as altitudes, nas áreas de floresta e não-floresta, foram menores que o erro-padrão altimétrico aceitável, igual a 6,66 m, para a classificação de

documentos cartográficos, na escala de 1:50.000, com PEC padrão Classe A. Portanto, com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que o MDT é compatível com as escalas de mapeamento do Projeto Radiografia da Amazônia e que esses modelos digitais podem ser empregados na elaboração de documentos cartográficos na escala de 1:25.000, com equidistância de 10 m entre as curvas de nível e classificados com PEC altimétrico Classe A.

Tabela 2. Parâmetros estatísticos da diferença entre as altitudes extraídas do MDT e as medidas de campo para as 3 grades irregulares de pontos de controle.

ALVO	Nº PTS	Mínimo	Máximo	Médio	Desvio Padrão	EMQ
Floresta ⁽¹⁾	948	0,0009	2,5777	0,9993	0,5715	1,151
Não-Floresta ⁽²⁾	336	0,0035	3,6672	1,2882	0,9172	1,5806
(1) + (2)	1284	0,0009	3,6672	1,0749	0,6906	1,2775

5. Considerações Finais

As metodologias de aerolevantamento SAR e de apoio de campo apresentadas neste trabalho vêm sendo utilizadas com sucesso pela DSG, no contexto do Projeto Radiografia da Amazônia, o que permitiu, até o presente momento, o recobrimento de uma área equivalente a 83% do total a ser imageado, em áreas de florestal tropical densa.

Os primeiros resultados obtidos com o método de autocalibração da fase interferométrica possibilitará, após uma comprovação mais ampla, a redução significativa do número de refletores a serem instalados no decorrer do projeto, garantindo assim, uma redução dos custos operacionais de campo e do tempo de execução da fase de aerolevantamento.

Foi apresentada também neste trabalho a metodologia de produção cartográfica, baseada em imagens SAR interferométricas, nas bandas X e P, que está sendo empregada para obtenção do grande volume de dados geoespaciais matriciais e vetoriais que compõe as metas físicas do Projeto Cartografia da Amazônia. Os resultados preliminares obtidos na avaliação do PEC altimétrico do MDT sinalizam para uma compatibilidade dos insumos com as escalas de mapeamento do projeto em tela, além da possibilidade de produção de documentos cartográficos na escala de 1:25.000.

6. Referências Bibliográficas

CENSIPAM, 2008. Subprojeto Cartografia Terrestre. **Documento de Referência do Acordo de Cooperação Técnica no 03/2008, de 26 de fevereiro de 2008, celebrado entre o CENSIPAM, o Comando do Exército, o Comando da Marinha, o Comando da Aeronáutica, e o Serviço Geológico do Brasil.**

CONCAR - Comissão Nacional de Cartografia. **Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV).** 2009. Disponível em <http://www.concar.ibge.gov.br/consulta_publica/detalheConsulta.aspx?cod=20>.

DSG. **Relatório Técnico do Teste de Aerolevantamento Radar nas Bandas "P" e "X", em Santarém-PA.** 2000. Disponível em <<http://www.concar.ibge.gov.br/Plano/pcn10.htm>>.

Dutra, L.V.; M.T. Elmiro; B.S.S. Filho; J.C. Mura; J.R. Santos; C.C. Freitas; L.S. Araújo; P.C.G. Albuquerque; P.R. Vieira e F.F. Gama. Assessment of Digital Elevation Models obtained in Brazilian Amazon based on P and X band Airborne Interferometric In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2002, Toronto, **Anais...** Canadá.

ITT. IDL 7.0.2/ENVI 4.5. 2008. Disponível em <<http://www.itvis.com/ProductServices.aspx>>.

MURA, J.C. Geocodificação automática de imagens de radar de abertura sintética interferométrico: sistema Geo-InSAR. 2000. 160 p. (INPE-8209-TDI/764). Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2000.

RIVIX. RiverTools 3.0 for Windows. 2009. Disponível em <<http://www.rivertools.com/>>.