

Confecção de Carta Especial Aeronáutica de Pilotagem utilizando dados de sensoriamento: estudo de caso Carta Vila Sumuru, NB-20-Z-D

Tati Almeida¹

Eliseu Dias da Silva²

Jaymerindo Pereira da Silva Júnior²

Paulo Roberto Meneses¹

¹ Universidade de Brasília

Instituto de Geociências, Campus Universitário Darcy Ribeiro

tati_almeida, pmeneses@unb.br

² Comando-Geral de Operações Aéreas

eliseudias2000@yahoo.com.br, jaymerino@yahoo.com.br

Abstract. This paper considers a methodology to elaborate special flying map sheets with altimetry (CEAPA - 1:250.000 scale), which are of great interest for both Civil and Military societies. For that, we have used remote sensing data combined with aeronautic information. The methodology involved on the creation of the CEAPA is a viable alternative and is nearly costless to cover the entire Brazilian Territory, which have had only 40% of it covered by this type of map. The results obtained on the creation of the CEAPA for the North Roraima State (NB-20-Z-D) were used to demonstrate the viability of that methodology.

Palavras chave: Cartografia aeronáutica, GEOCOVER, SRTM

1. Introdução

O aumento significativo do tráfego aéreo, o avanço tecnológico das aeronaves e a crescente complexidade e dinamismo do Sistema de Proteção ao Vôo, são alguns dos fatores que tornam imprescindível a elaboração de produtos e dados precisos para dar suporte às atividades aéreas (Silva, 2005). Neste sentido, a cartografia aeronáutica torna-se fator primordial na segurança territorial e do espaço aéreo brasileiro.

No entanto, existem grandes vazios na cartografia aeronáutica no Brasil (Figura 1) e, a produção de novos documentos de responsabilidade do Instituto de Cartografia da Aeronáutica (ICA), esbarra na falta de cartas atualizadas (topografia, rede de drenagens, estradas, linhas de alta tensão, etc.) que abranja todo o território nacional. Uma solução prática e econômica para preencher estas lacunas é a utilização de dados de sensoriamento remoto orbital ou aerotransportado para a confecção de cartas aeronáuticas. Vários trabalhos demonstram o sucesso do emprego deste tipo de dado na confecção de cartografia básica e aeronáutica (Arruda Junior & Aguiar, 2006; Santos *et al.* 2006; Pinheiro, 2006; Silva & Silva Junior 2006; Silva 2005).

O ICA produz dois tipos de cartas de navegação: visual e por instrumentos. As Cartas de Navegação Visual – VFR são destinadas a apoiar os vôos, para cuja navegação é utilizada referência visual do solo. As Cartas de Navegação por Instrumentos – IFR contêm informações topográficas, que praticamente não sofrem modificações, e informações aeronáuticas, que estão sujeitas a um processo de atualização extremamente dinâmico.

As Cartas de Navegação Visual produzidas pelo ICA dividem-se em relação à escala: 1: 1.000.000 (Carta Aeronáutica Mundial – WAC), 1: 500.000 (Carta de Navegação Aérea Visual) e 1: 250.000 (Carta Aeronáutica de Pilotagem). As Cartas Aeronáuticas de Pilotagem (CAP – 1: 250.000) constituem-se no documento cartográfico básico de suporte à aviação militar que, em virtude de sua escala e do grau de detalhamento são indicadas para a navegação de baixa altitude.

Para as regiões em que não existem cartas topográficas que permitam a compilação suficiente de dados planimétricos, altimétricos e pontuais, o ICA criou a Carta Imagem a partir dos dados do CBERS 2 e do Landsat, nas escalas 1: 500.000 e 1: 250.000. O ICA

também produz sistematicamente Cartas Especiais que visam atender as necessidades específicas da Força Aérea. As Cartas Imagem Aeronáutica de Pilotagem (CIAP – 1: 250.000) são uma solução alternativa. Estas cartas possuem como “fundo” uma imagem Landsat e dados como: identificação da carta, localidades, rodovias, estradas de ferro, limites estaduais e internacionais, aeródromos, linhas isogônicas, auxílios à navegação e obstáculos, escalas numéricas e gráficas, *datum* e sistema de projeção.

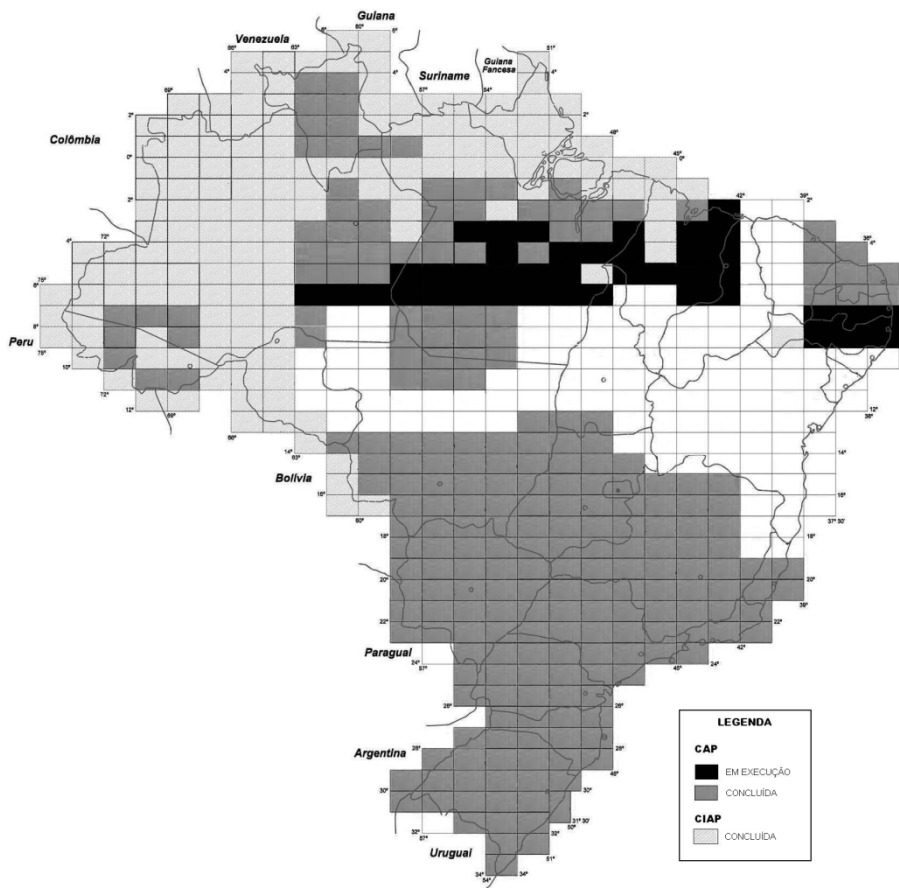


Fig 1 – Disposição do recobrimento das cartas aeronáuticas no território brasileiro

As CIAP's são largamente utilizadas para navegação aérea em diversas áreas da Região Norte do país, porém, devido à ausência de informações altimétricas, cores hipsométricas, e de elementos marginais torna-se muito difícil a aeronavegabilidade pois a densidade e homogeneidade do dossel da Floresta Amazônica dissimulam o relevo (os aeronavegantes visualizam somente um “enorme tapete verde” destituído de pontos e cotas de referência); a forte nebulosidade, característica da região equatorial, dificulta a visibilidade tanto vertical como horizontal e o perfil hidrográfico da região é muito denso e, portanto, somente os maiores rios e lagos são observados nas CIAP.

Este trabalho apresenta, como proposta, os métodos empregados para a confecção de um produto “intermediário” entre a CAP e a CIAP, na escala 1: 250.000, denominada de Carta Especial Aeronáutica de Pilotagem com Altimetria (CEAPA), utilizando como exemplo os dados SRTM, Landsat e/ou SAR/SIPAM na Região Amazônica. O resultado é apresentado para a carta NB-20-Z-D.

2. Materiais e Métodos

Os métodos empregados para a confecção da CEAPA dependem da disponibilidade, qualidade e custo dos materiais, principalmente no que diz respeito às imagens óticas e de radar. Na Figura 2 (fluxograma) têm-se as tomadas de decisões necessárias para a confecção

CEAPA através da extração, compilação e vetorização de informações de planimetria, altimetria e símbolos (linhas, pontos, textos e zonas).

Segundo o Manual Técnico de Cartografia do IBGE, a carta ou mapa tem por objetivo a representação de duas dimensões, a primeira referente ao plano (planimetria) e a segunda à altitude (altimetria). As informações planimétricas são hidrografia, vegetação, unidades político-administrativas, localidades, áreas especiais, sistema viário, linhas de comunicação e outros elementos planimétricos. As informações altimétricas são aspecto de relevo, curvas de nível, equidistância, cores hipsométricas, relevo sombreado e perfil topográfico (Silva & Silva Júnior, 2007). Nas cartas aeronáuticas, além destas informações sistemáticas têm-se as aeronáuticas, isto é, a representação de aeródromos, auxílios à navegação aérea, espaço aéreo condicionado e obstáculos.

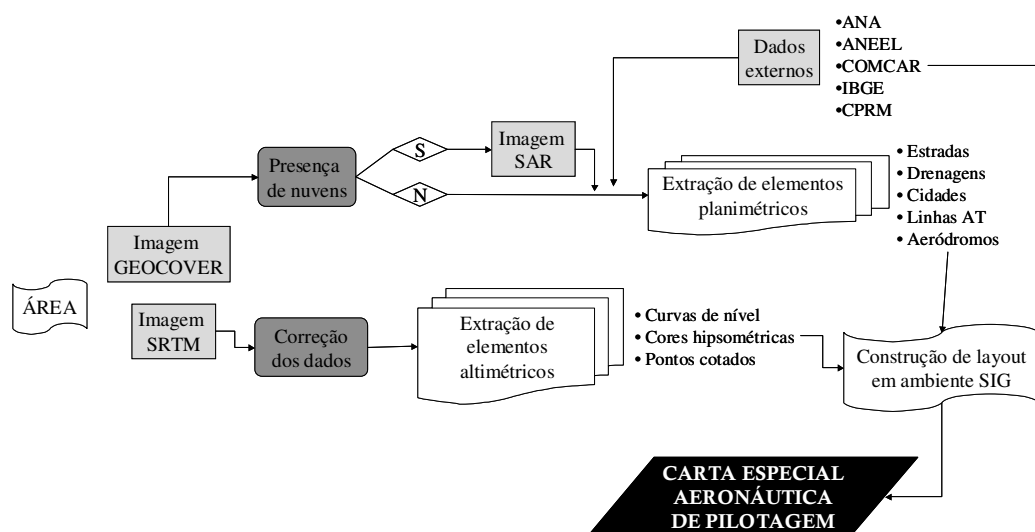


Fig 2 –Fluxograma da metodologia proposta para a confecção de carta especial aeronáutica

2.1 Planimetria

A utilização de imagens TM-Landsat na confecção de cartas aeronáuticas já é empregada na confecção das Cartas-Imagens. Aeronáutica de Pilotagem (CIAP). No entanto, neste tipo de carta, a imagem de satélite em composição colorida falsa cor das bandas 3, 4 e 5, é utilizada somente como fundo da carta para visualização do terreno. Para a CEAPA, propõe-se a utilização dos mosaicos GEOCOVER e das imagens ortorretificadas Landsat ETM+ e/ ou TM não somente para a visualização, mas sim para a vetorização dos dados planimétricos (redes hidrográficas e viárias; localidades / cidades e redes de alta tensão). Este modo de edição já vem sendo empregado em cartas topográficas, em execução pelo convênio DSG/ INPE (Correia & Oliveira, 1998) em escalas menores que 1: 100.000.

Segundo as Normas Técnicas da Cartografia Nacional definidas no Decreto 89.817, de 20 de julho de 1984 (CONCAR, 2004), o padrão de exatidão cartográfica (PEC) pode ser subdividido, no caso da planimetria e da altimetria, em A, B ou C. Na tabela 1 estão calculados os valores de tolerância e de erros quadráticos médios (EQM) para a escala 1:250.000 para estas três categorias.

As imagens GEOCOVER e algumas imagens LANDSAT, distribuídas gratuitamente no site <http://glcfapp.umiacs.umd.edu/index.shtml>, estão ortorretificadas e apresentam precisão, segundo Tucker *et al.* (2004), de 50 metros de erro quadrático médio (EQM). Este fato possibilita a utilização destas imagens para a categoria A das normas técnicas da cartografia na escala 1: 250.000 (<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>).

Um fator limitante na utilização de imagens óticas para extração de dados planimétricos, principalmente na Região Amazônica, é o recobrimento de nuvens, que no caso dos mosaicos GEOCOVER pode ser de até 10% por cena. Assim, para suprir áreas que

apresentam “encobertas”, recomenda-se a utilização de imagens SAR, que praticamente independe das condições atmosféricas. Várias são as fontes deste tipo de imagens, a saber: (i) SAR do Sistema de Proteção da Amazônia, detentor de duas aeronaves dotadas de radares multipolarimétricos nas bandas L e X e que possui em acervo o recobrimento quase completo da área da Amazônia, disponível ao público; (ii) ALOS *Advanced Land Observing Satellite*, radar orbital multipolarimétrico, banda L, fornecido via IBGE, garante precisão de escala 1: 25.000, porém, ainda restrito a poucas áreas (Gomes *et al.*, 2007). (iii) RADARSAT, dados de radar na banda C obtidos desde 1995, aquisição por compra.

Tabela 1. Padrão de exatidão cartográfica altimétrico e planimétrico calculado para escala 1:250.000

Categoria	PEC PLANIMÉTRICO		PEC ALTIMÉTRICO	
	Tolerância	EMQ	Tolerância	EMQ
A	125m	75m	50m	33.33m
B	200m	125m	60m	40m
C	250m	150m	75m	50m

2.2 Altimetria

Para gerar um Modelo Digital de Elevação (MDE) podem ser utilizadas várias técnicas: dados topográficos obtidos em levantamento de campo, modelos estereoscópicos com fotografias aéreas ou imagens de satélites (ASTER, SPOT, etc.), ou cartas topográficas. Nos últimos anos, com o advento das técnicas de interferometria por radar, estão sendo gerados resultados positivos na produção de modelos digitais de elevação (Pinheiro, 2006).

Um dos maiores avanços nesta área foi propiciado pelo programa *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) que adquiriu dados topográficos a partir de um sistema radar interferométrico (InSAR) nas bandas C (5,6cm/ 5,3Ghz) e X (3,1cm/ 9,6Ghz) da maior parte do globo terrestre. Os dados desta missão estão disponibilizados gratuitamente com 30 metros de resolução espacial (1 arco segundo ou 0,000277°) para os Estados Unidos e com 90m (3 arco segundo ou 0,000833°) para o resto do mundo, com sistema de coordenadas geográficas, *datum* vertical de referência WGS 84 (*World Geodetic System* 1984) EGM 96. As altitudes do modelo digital de elevação (MDE) são representadas em metros inteiros (USGS, 2000). A missão SRTM teve apoio de campo através de levantamentos geodésicos realizados com sistema de posicionamento global (GPS) no modo cinemático e refletores de canto para a aquisição de pontos de controles (Valeriano, 2004).

Vários estudos foram realizados para qualificar estes dados em relação a sua acurácia vertical: Rabus *et al.* (2003), Sun *et al.* (2003), Rao (2004), Miliariesis & Paraschou (2005). No Brasil os testes realizados por Pinheiro (2006) e Santos *et al.* (2006) utilizando dados SRTM nas regiões Amazônica e Sul do Brasil demonstram que, no caso da altimetria, os erros médios quadráticos foram de 11,06 e 7,00 metros, respectivamente. Este fato define que, em relação ao padrão de exatidão cartográfica para a escala 1: 250.000 (tabela 1), os dados gerados pela missão *Shuttle* são de categoria A, podendo ser utilizados na confecção de produtos cartográficos nesta escala.

2.3. Símbolos

Para agregar informações que são de caráter obrigatório ou desejáveis em uma carta de pilotagem, tais como, nomes de rios, serras, estradas, cidades e países, limites estaduais e internacionais, aeródromos e informações de auxílio à navegação e obstáculos, faz-se necessário uma compilação de várias fontes de dados. As agências nacionais de águas e de energia elétricas, órgãos públicos do governo federal (IBGE, INFRAERO, Comando da Aeronáutica), a maioria das prefeituras e dos governos estaduais, são detentoras de bases de dados georreferenciados em ambiente de sistemas de informações geográficas (SIG). Algumas destas fontes de dados são: (i) A Agência Nacional de Água (ANA) possui a hidrografia, cidades e limites estaduais e internacionais cartografados em formato *shapefile* de

todo o território nacional, na escala 1: 1.000.000, disponibilizados em CDs pelo projeto Bacias Hidrográficas do Atlântico Sul (ANA 2008); (ii) A CPRM possui os recortes 1:1.000.000 de toda a área do território nacional em sua página da web (<http://geobank.sa.cprm.gov.br/>); (iii) O Estado de Goiás apresenta toda a informação referente à hidrografia, malhas viárias, vegetação, limites municipais e estaduais, etc. em escala 1: 250.000 ou maior, disponibilizadas no site <http://www.sieg.go.gov.br/>; (iv) O Estado de Minas Gerais também possui, disponibilizado em CDs, as informações na escala 1: 250.000 referentes ao estado (Projeto GEOMINAS); (v) O Comando da Aeronáutica tem catalogado os aeródromos existentes em todo o território nacional; e (vi) O IBGE disponibiliza na sua página da web (<http://mapas.ibge.gov.br/>) base cartográfica integrada do país em escala 1: 1.000.000 onde constam camadas com informações de drenagens, estradas, cidades, limites estaduais e internacionais, dentre outras.

3. Estudo de Caso: Vila Sumuru, NB-20-Z-D

A proposta aqui apresentada para a confecção de CEAPA foi testada em área onde já existia uma Carta-Imagem Aeronáutica de Pilotagem (CIAP). Assim os elementos da base cartográfica e das informações aeronáuticas (representação de aeródromos, auxílios à navegação aérea, espaço aéreo condicionado e obstáculos) foram compilados desta CIAP.

O estudo foi desenvolvido em uma área teste localizada no extremo norte do Brasil, no Estado de Roraima, fronteira com a Venezuela e a Guiana, entre as coordenadas 5° 00' 00" e 4° 00' 00" N e 61° 30' 00" e 60° 0' 00" W (quadrícula NB-20-Z-D). Nesta área há a disponibilidade de imagens Landsat ETM, GEOCOVER, SRTM e SAR-SIPAM (Tabela 2).

3.1 Processamento para extração de dados planimétricos

As imagens GEOCOVER e LANDSAT ETM+ adquiridas possuem sistema de coordenada UTM, zona 23 e *datum* WGS 84 e o processamento inicial constituiu na conversão do *datum* para SAD 69, *datum* utilizado pelo ICA. A composição falsa-cor 7/4/2 interpolada para 15m do dado GEOCOVER apresentou excelente resultado na extração de drenagens, estradas e cidades (Figura 3). A pequena presença de nuvens e brumas nesta imagem foi fator determinante na escolha deste dado para a digitalização da planimetria.

Tabela 2. Referências das imagens utilizadas na confecção da CEAPA NB-20-Z-D

Órbita Ponto	233_057	232_057	GEOCOVER	SRTM
Imagens	ETM + ORTO 233_057	ETM + ORTO 232_057	N-20-00	N04W059; N04W060; N04W061; N04W062; N05W059; N05W060; N05W061; N05W062
Bandas	1,2,3,4,5,7 e pan	1,2,3,4,5,7 e pan	Fusão 7,4 e 2	-
Data de aquisição	13/11/2001	22/01/2001	de 18/08/199 a 13/11/2001	
Nuvem	2%	5%	3%	-
Resolução	30/15m	30/15m	15m	90m
Fonte	Maryland 2008	Maryland 2008	Maryland 2008	USGS 2000

Os dados vetoriais adquiridos na ANA (ANA, 2008) e da CPRM (<http://geobank.sa.cprm.gov.br/>) serviram como “guias” para a digitalização das características fisiográficas utilizando as imagens LANDSAT. As camadas de informação foram vetorizadas em ambiente SIG e classificadas de acordo com as normas da cartografia aeronáutica (Ministério da Aeronáutica, 1998).

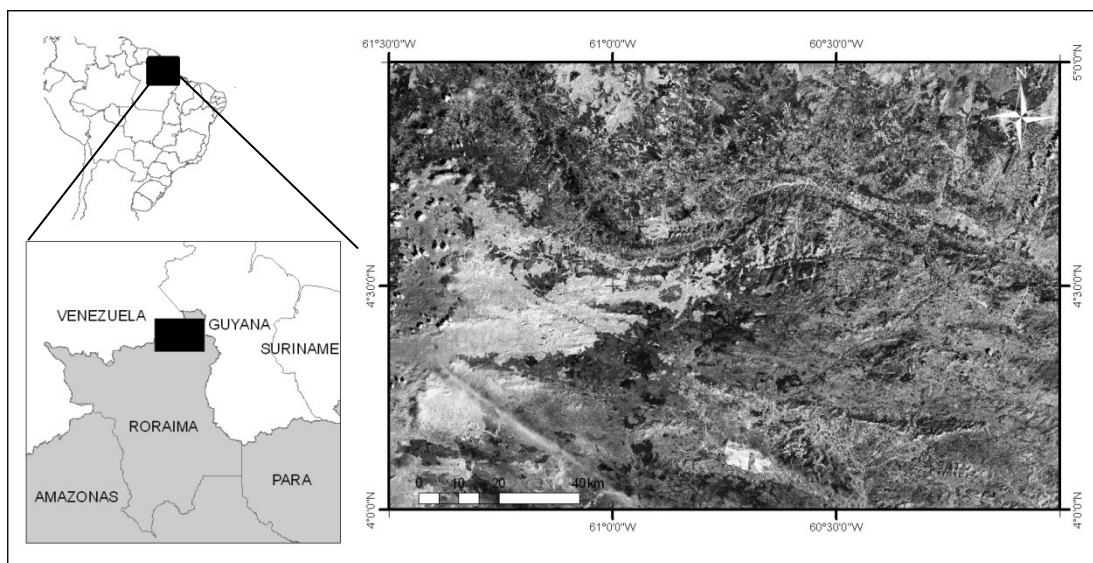


Fig. 3. Imagem GEOCOVER (banda 5) da área de estudo

3.2 Processamento dos dados altimétricos

As imagens SRTM que recobrem a área de estudo foram transferidas da rede no formato .hgt. Em uma primeira análise foi constatada a existência de cotas negativas devido à falta de dados altimétricos em algumas regiões (áreas sombreadas ou com resposta especular nos dados de radar). Estes valores foram corrigidos utilizando triangulação *Delaunay* do aplicativo ENVI 4.1. Após este processamento foi feita a mosaicagem de toda a área e o MDE foi convertido para *datum* SAD 69 e unidade em pés (originalmente WGS84 e metros) (Figura 4).

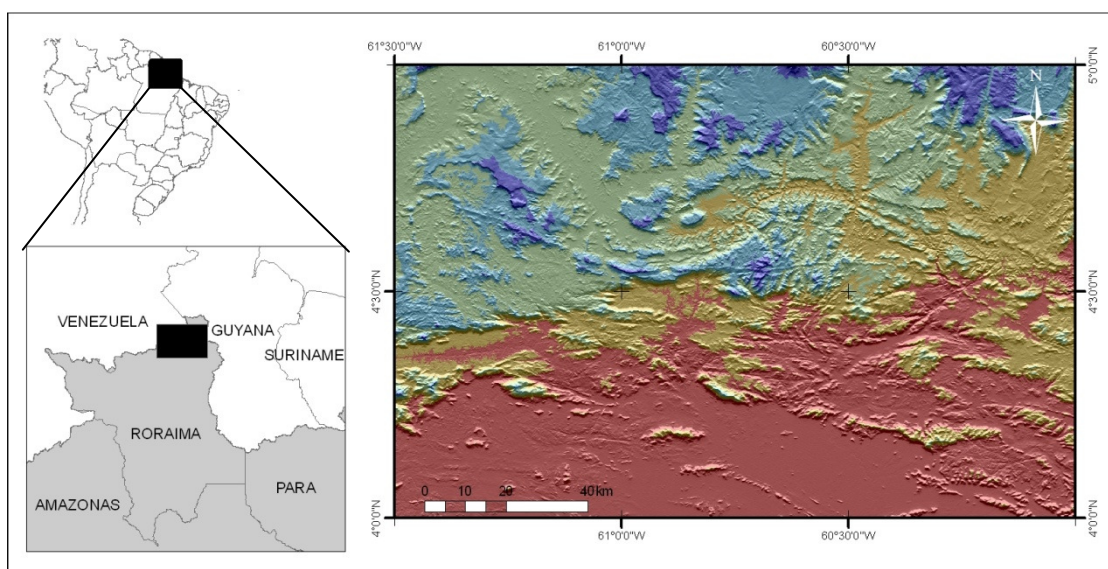


Fig. 4. Imagem SRTM filtrada direcionalmente sobreposta às cores hipsométricas

Este dado foi classificado por cotas topográficas para a representação em cores hipsométricas (quatro classes) e curvas de níveis equidistantes de 328 pés com curvas mestras de 1312 pés.

3.3 Geração da Carta Especial Aeronáutica de Pilotagem com Altimetria - CEAPA

Agregando as informações planimétricas, altimétricas e símbolos, o resultado final do estudo é a Carta Especial Aeronáutica de Pilotagem com Altimetria (Figura 5). Estas metodologias de integração já são consagradas e desenvolvidas no ICA (Arruda & Aguiar 2006).

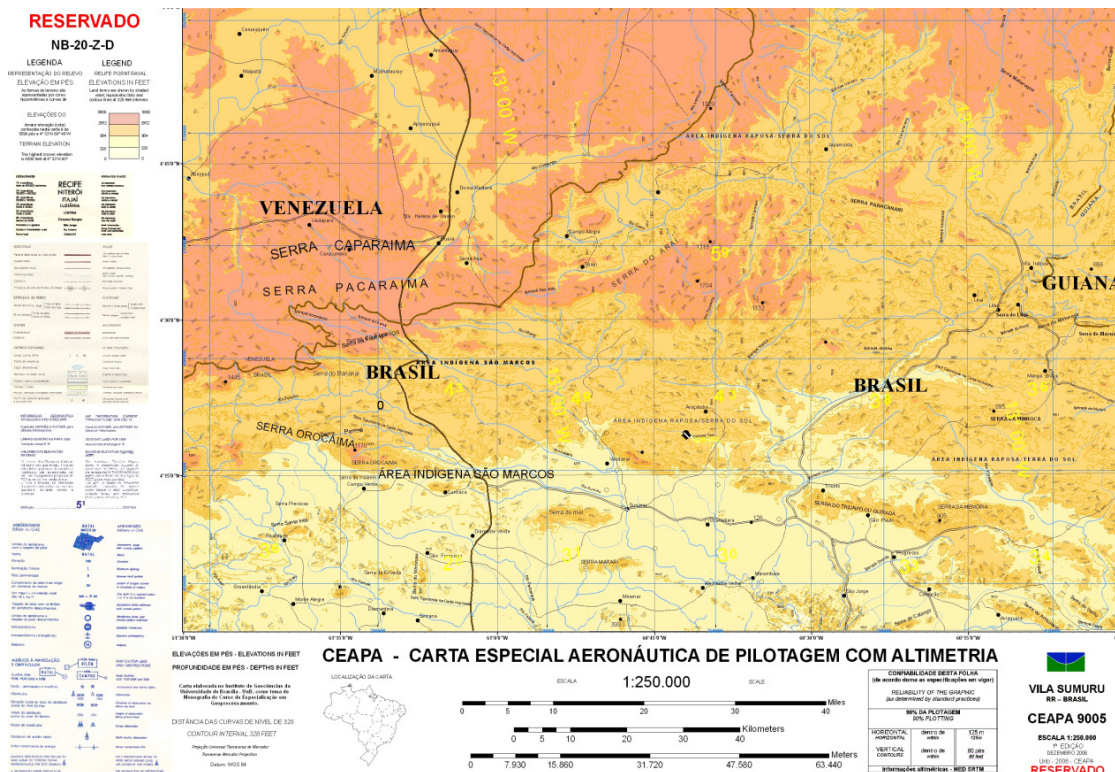


Figura 5: Carta Especial Aeronáutica de Pilotagem (CEAPA). Original com fidelidade escalar.

O produto gerado neste trabalho, comparado aos produtos gerados pelo ICA, em particular com a Carta Aeronáutica de Pilotagem (CAP) e a Carta- Imagem Aeronáutica de Pilotagem (CIAP), tem uma qualificação intermediária. No entanto, considerando a quantidade e a qualidade das informações, a CEAPA está muito mais alinhada aos parâmetros da CAP, pois apresenta dados altimétricos (cores hipso, linhas isogônicas e picos de elevação) e símbolos cartográficos normatizados por legislação específica.

4. Conclusões

Atualmente, o grande desafio da cartografia é obter dados altimétricos precisos das regiões de difícil acesso para o levantamento geodésico e/ou daquelas que apresentam climatologia desfavorável para o aerolevanteamento, para elaboração de cartas e modelos digitais de elevação com alta precisão.

O desenvolvimento das tecnologias de sensoriamento remoto com imagens óticas de alta periodicidade temporal, associadas às imagens de radares interferométricos em regiões com problemas climáticos, viabiliza a extração de informações altimétricas e planimétricas. Estudos realizados nestes últimos anos indicam a confiabilidade de dados GEOCOVER e SRTM, encontrados gratuitamente na internet, para escalas de até 1:250.000.

Assim, a metodologia proposta neste trabalho indica que produtos confiáveis para a navegação aérea podem ser confeccionados utilizando-se técnicas simples de processamento digital de imagens com custo praticamente nulo, e ainda que, a carta especial aeronáutica com altimetria agrega informações confiáveis imprescindíveis para as atividades aéreas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA – Agência Nacional de Águas, *Bacias Hidrográficas do Atlântico Sul - Trecho Leste (cdnº 4)*, Série: Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos, 2001. Cd-Rom.ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica: **Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico**. Disponível em: <<http://sigel.aneel.gov.br/>>.
- Arruda,de,Jr.,E.; Aguiar,de,A. : **Confecção de Carta-Imagem de Navegação Aérea Visual utilizando imagens CBERS** COBRAC 2006, UFSC Florianópolis, disponível em geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac_2006/061.pdf, junho de 2006.
- CONCAR, **Decreto 89 817 de 20 de Julho de 1984**, disponível em: <http://www.ibge.gov.br/geodesia/pdf/rpr-2389.pdf>, novembro de 2004.
- Gomes, L. B.; Gelli G.; Carvalho M.J.; Fortes, L.P.S.; Neto, J.P.; Coelho, A.L.; Oliveira, L.F.; Belle-Hamer L. Mapeando a Amazônia com o satélite ALOS (Advanced Land Observing Satellite), Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 6759-6761.
- Miliareisis, G. Ch.; Paraschou; C.V.E. Vertical accuracy of the SRTM DTED level 1 of Crete.**International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. 7. pp. 49–59. 2005.
- Ministério da Aeronáutica. Cartografia Aeronáutica. Instituto de Proteção ao Vôo. Planejamento Estratégico de Sistemas de Informações – PESI 1995/1999. 1998. Diretoria de Eletrônica e proteção ao vôo. Manual do Especialista em Informação Aeronáutica – MMA 53-1. 150p.
- Pinheiro E.S. Comparação entre dados altimétricos SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION, Cartas Topográficas e GPS: numa área com relevo escarpado. Revista Brasileira de Cartografia nº58/01, 2006. ISSN1808-0936, 2006. p1-9
- Pinheiro, E.S. Comparação entre dados altimétricos shuttle radar topography mission, cartas topográficas e gps: numa área com relevo escarpado. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 58, n. 01, pp. 1-9, 2006.
- Rabus, B.; Eineder, M.; Roth, A.; Bamler, R. **The shuttle radar topography-a new class of digital elevation models acquired by space borne radar-** ISPRS, Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 57, 241-262, (2003).
- Rao, K. S. (2004). Validation of digital elevation model derived from Shuttle Radar Topography Mission using GPS field measurements. Disponível em:<www.gisdevelopment.net/technology/gps/ma03033abs.htm> Acessado em: 28/03/2005.
- Santos P.R.A.; Gaboardi C.; Oliveira L.C. Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM para Amazônia. Revista Brasileira de Cartografia nº58/01, 2006. p101-107.
- Silva E.D. & Silva Junior J.P. Metodologia para confecção de carta especial aeronáutica de pilotagem com altimetria (CEAPA) em escala 1: 250.000 utilizando imagens Landsat ETM + e SRTM. Monografia de conclusão de curso de especialização. Universidade de Brasília, 2006. Instituto de Geociências, 29p.
- Silva, L. F. C. F.; Oliveira, L. C. . Projeto Carta Eletrônica de Navegação Terrestre x Novas Tecnologias. In: Seminário Impacto das Novas Tecnologias na Engenharia Cartográfica, 1998, Presidente Prudente. Anais, 1997.
- Silva, L.S.L. 2005. A produção cartográfica aeronáutica no Brasil. Departamento de Controle do Espaço Aéreo, ICA. Rio de Janeiro, 2005.
- Sun, G.; Ranson,K.J.; Kharuk, V.I.; Kovacs. K. Validation of surface height from shuttle radartopography mission using shuttle laser altimeter. **Remote Sensing of Environment**. 88. 401–411. 2003.
- Tucker, C.J.; Grant, D.M.; Dykstra, J.D. NASA’s global orthorectified Landsat data set. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, v. 70, n. 3, p. 313–322, 2004. 6628
- USGS, Shuttle Radar Topography Mission, 3 Arc Second scene 2.0, Global Land Cover Facility, University of Maryland, College Park, Maryland, February 2000.