

Discussão sobre o emprego da pré-sinalização de marcos planialtimétricos em mapeamento aerofotogramétrico

Glauber Carvalho Costa¹
Daniel Carneiro da Silva²
Maurício dos Santos Silva³

¹ Maia Melo Engenharia Ltda.
Rua General Joaquim Inácio, nº136 – Ilha do Leite, CEP 50070-270 – Recife-PE, Brasil
glaubercad@bol.com.br

² Universidade Federal de Pernambuco - UFPE – Recife-PE, Brasil
Departamento de Engenharia Cartográfica
danielcs@ufpe.br

³ Centro de Hidrografia da Marinha - Rua Barão de Jaceguai, s/nº
Ponta da Areia – Niterói-RJ, Brasil
mauricio@h21.mar.mil.br

Abstract. This present work deals with the use of pre-signalized planialtimetric control points to aid photo identification and improve the precision of aerophotogrammetry surveys, where the control points were used during the last stages of image orientation the photo triangulation. This work discusses the parameters adopted in the implantation of the pre-signalization, its applicability and the results achieved in the surveys performed in two areas of testing. One area was located on the southern coast of the state of Santa Catarina in the municipality of Laguna/SC, which corresponds to the nautical chart “Porto de Laguna” nº1901. In this survey the aim was to update that nautical chart and train the officers and soldiers in hydrographic surveys for the purpose of the elaboration and actualization of nautical charts. The training integrated the final stage of the refresher course on hydrography for officers, promoted by DHN (Administration of Hydrography and Navigation). The other test area, performed in the stretch of BR-101/North in Pernambuco, aimed at application of highway projects. In the first study, a total of 58 control points were tracked with geodesic GPS receptors, of which a total of 6 control points were implanted and pre-signalized before the fly over. In the second study, 43 pre-signalized control points were used. In the stages of the acquisition of the aerial images of the aerial survey a medium format digital camera installed inside a UH-12 helicopter was used and data processing was performed in the Leica Photogrammetry Suite-LPS application. The efficiency of the adoption of pre-signalized the control points without of photo identifiable points was verified and all the methodology adopted and the results of the survey discussed.

Palavras-chave: Aerophotogrammetry, Pre-signalization, Medium Format Câmera, Aerofotogrametria, Pré-sinalização, Câmeras de Médio Formato

1. Introdução

O significativo desenvolvimento que as novas tecnologias estão trazendo a aerofotogrametria digital convencional, também tem permitido o surgimento de sistemas de imageamento aéreo digital de baixo custo, que utilizam imagens obtidas com câmeras de pequeno e médio formato, e que são uma alternativa tecnológica viável técnica e economicamente na aplicação de diversificadas áreas da engenharia, sobretudo na cartográfica, rodoviária, ferroviária e ambiental.

Existe, ainda, uma escassez de empresas privadas no Brasil que possam realizar levantamentos aerofotogramétricos com rápida mobilização de pessoal e equipamentos, em serviços emergências e de baixo custo de execução para escalas médias e grandes. Até mesmo a distribuição geográfica no território nacional não atende as demandas de atualizações e confecções, por exemplo, das cartas náuticas. Em Recife, por exemplo, não há disponibilidade

de empresas, fazendo com que os contratos sejam realizados com empresas do sul, sudeste ou centro oeste, onerando ainda mais os serviços de aerofotogrametria.

Foi observando esse cenário que universidades e outras entidades federais, como DNIT e a Marinha do Brasil, vem realizando estudos para viabilizar o emprego de câmaras digitais não-métricas que atendam às demandas de levantamentos para elaboração das cartas para apoio a projetos de engenharia e cartas náuticas.

Em alguns países já existem orientações e especificações para o uso desse tipo de câmara para várias aplicações. As especificações internacionais preconizadas nas Normas para Levantamentos Hidrográficos (OHI, 2008) apresentam parâmetros que se enquadram a metodologia adotada na aerofotogrametria digital que utiliza imagens digitais de médio formato, para a representação cartográfica náutica de linhas de contorno e cadastro da área territorial continental das cartas náutica. A possibilidade de se utilizar esse tipo de levantamento tem uma importância estratégica, agregando agilidade e independência à Marinha do Brasil para a realização do mapeamento náutico em toda a sua área de atuação, sobretudo em regiões de difícil acesso, tais como as ilhas oceânicas e bacias Amazônicas e do Pantanal (Ramos et al, 2008).

Outro uso potencial de câmera não métrica é nas diversas fases de projetos rodoviários, como discutido em (Silva e Costa, 2010, Costa, 2008 e PDDM, 2010). Existem várias dificuldades operacionais e tecnológicas a serem superadas para o pleno emprego das câmeras não-métricas, pois as mesmas não foram inicialmente projetadas para aplicações aerofotogramétricas, necessitando de calibrações e adaptações para os trabalhos de aquisição das aeroimagens, georreferenciamento direto ou indireto das fotografias, como também do desenvolvimento de soluções computacionais. Todo este conjunto de soluções deve contribuir para aumentar a rapidez e precisão do mapeamento.

Uma das formas de aumento de precisão em levantamentos aerofotogramétricos, que é uma recomendação importante em todas as normas internacionais, trata da necessidade e uso de pré-sinalização, que proporciona medições mais precisas das coordenadas de pontos de apoio, aumenta a eficácia da fototriangulação, e contribui na resolução da questão relacionada ao problema de medições de pontos em áreas, com poucas feições naturais ou artificiais, como em regiões de monoculturas e de vegetação de homogeneidade visual. Este problema ocorre nas áreas continentais e litorâneas do território brasileiro, onde é comum que não existam feições artificiais ou as feições naturais não são fotoidentificáveis.

No presente trabalho são apresentados e discutidos os procedimentos de planejamento e implantação de pré-sinalização em campo de marcos de apoio à aerotriangulação em dois projetos, um com fins de mapeamento da DHN, e outro para avaliar a precisão com vistas à projeto rodoviário.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Aquisição das Imagens e Processamento Fotogramétrico

O aerolevanteamento de adestramento de Oficiais e Praças do Levantamento Hidrográfico de Final do Curso - LHFC/2008 e da BR101/PE tiveram o mesmo fluxograma de execução, e foram divididos em três etapas básicas: planejamento do voo (escala cartográfica pretendida, número, posição e recobrimento das faixas de voo, intervalo de tomadas das imagens, identificação de áreas com poucas feições naturais ou artificiais), sendo o planejamento realizado a partir de informações resultantes de reconhecimento de campo e com o auxílio de imagem orbital de satélite, aquisições de dados (fotografias digitais aéreas e pontos de apoio) e processamento. Para a realização dos aerolevanteamentos adotou-se uma sistemática que obedeceu ao diagrama da Figura 1.

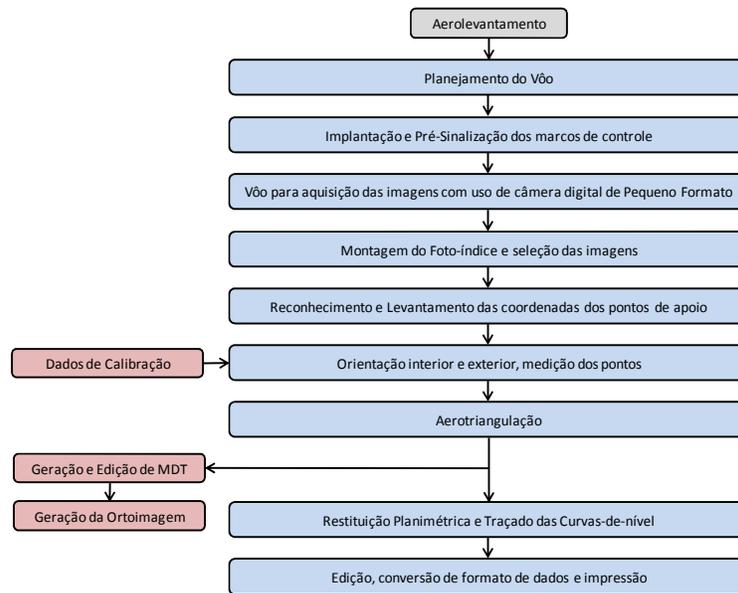


Figura 1. Fluxograma dos aerolevamentos.

As imagens digitais aéreas de tomada vertical foram obtidas com o auxílio de uma câmera digital Sony Cyber-shot DSC-F828 para o levantamento de Laguna/SC, acondicionada em um suporte metálico, rigidamente instalado na parte inferior de um helicóptero HU-12 (Esquilo monoturbina) conforme mostra a Figura 2, capaz de registrar imagens com uma resolução 3264 x 2448 pixels (8 Mpixels), e distância focal de 28 mm, previamente calibrada, já o levantamento da BR101/PE foi realizado com uma câmera Canon A-640 acoplada a uma aeronave modelo EMB-820C, capaz de registrar imagens com uma resolução efetiva de 10 Mpixels – 3648 x 2736 pixels.

O acionamento da câmera no voo de Laguna/SC foi controlado por sistema remoto através de um cabo ligado a câmera com dispositivo para acionamento manual no interior da cabine do helicóptero HU-12. A esta câmera também foi acoplado um cabo *Video Graphics Adaptor-VGA* ligado a um monitor de TV de 10 polegadas, para auxílio às tomadas das imagens e controle das faixas de voo, com o monitor foi possível o responsável pelo acionamento da tomada das imagens ter a mesma perspectiva visual da câmera no momento da tomada, dando uma segurança maior de solicitar correções de posicionamento da aeronave nas faixas de voo, como altura e superposição. O acionamento da câmera foi calculado para intervalos de 13 (treze) segundos, de acordo com a velocidade de cruzeiro e da desejada sobreposição longitudinal de 65% das imagens.



(a)



(b)



Figura 2. Suporte metálico e câmera digital Sony acondicionada no suporte (a,b), instalação do equipamento na barriga da aeronave (c) e posição do suporte metálico no helicóptero (d).

As especificações do plano de vôo constantes na Tabela 1 foram calculadas com base em parâmetros associados às características das câmeras usadas, determinadas pela calibração e escalas cartográficas pretendidas ao produto final, que para o levantamento de Lagura foi de 1:5000 e o da BR101/PE foi de 1/2000. Então, com os dados da escala cartográfica pretendida ao produto final conhecido, o tipo de aeronave a ser empregada e os dados de calibração da câmera, foram definidas as especificações dos planos de vôo (Tabela 1), Para o levantamento de Laguna/SC utilizando-se um aplicativo desenvolvido pela Universidade Estadual Paulista – UNESP para geração Semi-Automática de Planos de Vôos Fotogramétricos, que tem interface com o programa Google Earth™ conforme mostra a Figura 3, no da BR101/PE foi calculado através da forma convencional com o auxílio de planilha eletrônica.

Tabela 1 – Dados do planejamento de vôo.

Dados		Levantamento Laguna/SC	Levantamento BR101/PE
Velocidade de Cruzeiro		100 km/h	150 km/h
Altitude de Vôo		1180 m	740 m
Intervalo de Tomada das Imagens		13 Seg	4 Seg
Recobrimento Longitudinal		65%	60%
Recobrimento Transversal		30%	30%
Extensão no terreno	Longitudinal	1100m	510m
	Transversal	1460m	680m
Resolução (Distância amostral do terreno)		0,45 m	0,19 m
Escala Cartográfica da Restituição		1:5000	1:2000

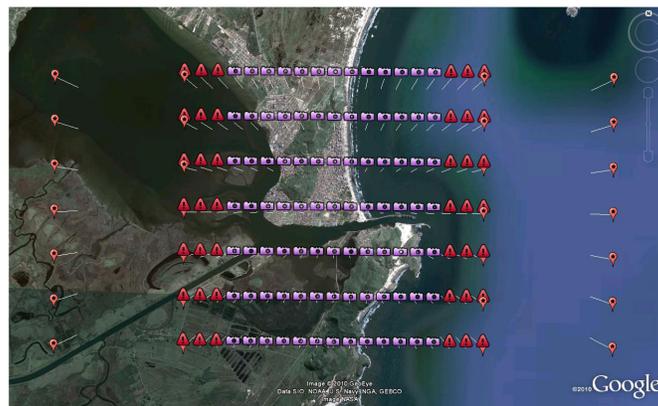


Figura 3. Plano de Vôo de Laguna/SC resultante do aplicativo.

2.2. Implantação dos Marcos de Apoio

Foram rastreados com receptor GPS geodésico um total 58 pontos de apoio, sendo desse total 6 marcos implantados e pré-sinalizados antes do sobrevôo de Laguna/SC. A implantação dos marcos pré-sinalizados foram planejados objetivando superar as dificuldades de obtenção de pontos fotoidentificáveis ao sul do canal de acesso ao Porto de Laguna, procurou-se posicionar os pontos, nas áreas extremas das faixas de vôo e nas regiões de superposição transversal de faixa, conforme mostra a Figura 4.

As alturas elipsoidais do levantamento de Laguna/SC ao contrário da BR101/PE em que os marcos foram nivelados, as alturas ortométricas utilizadas foram transformadas em alturas geoidais através da utilização do modelo EGM 2008 conforme exposto por Pavlis et al (2008), pois para o processamento aerofotogramétrico os pontos de apoio devem conter informações de altitude vinculadas à topografia do terreno, não podendo ser utilizadas as altitudes elipsoidais. Mas visando minimizar custos e tempo de execução não se optou em criar uma rede de nivelamento em toda a área do levantamento de Laguna/SC.

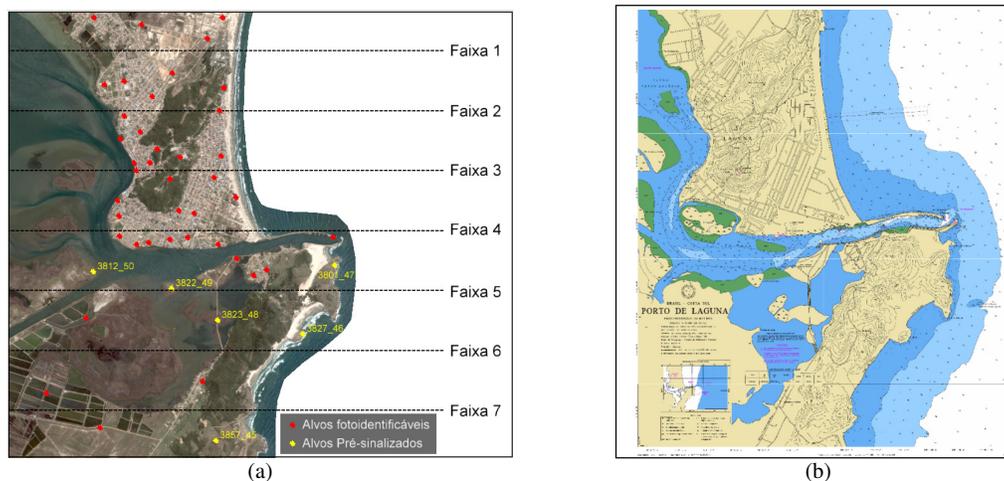


Figura 4. Plano de localização dos marcos de apoio vôo Laguna/SC (a) e Carta Náutica “Porto de Laguna” nº1901, objeto do levantamento (b).

No Levantamento da BR101/PE foi criada uma malha constituída de 43 marcos levantados planimetricamente com equipamento GPS e altimetricamente com nível eletrônico (Figura 5). Devido ao elevado número de marcos previstos, foram determinadas as alturas ortométricas de seis pontos distribuídos ao longo da área de estudo, por nivelamento geométrico, e estas ondulações geoidais encontradas foram utilizadas como referência no cálculo dos demais marcos não nivelados.

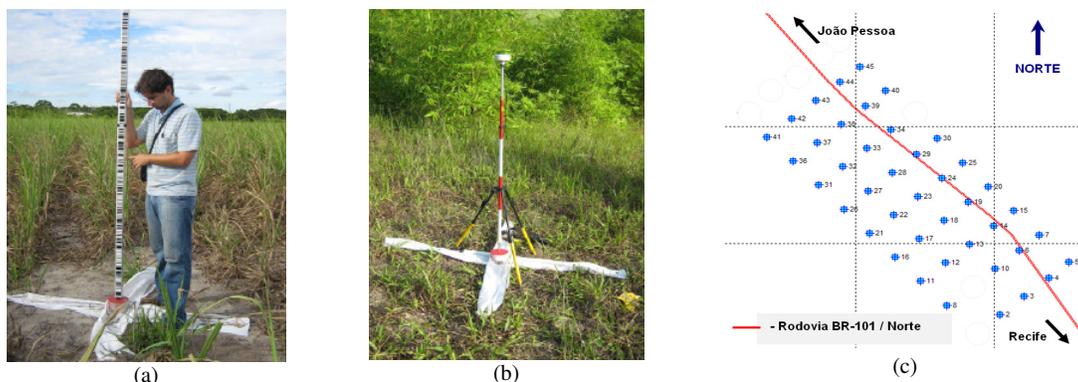


Figura 5. Levantamentos altimétrico (a), planimétrico (b) do marcos e plano de localização dos marcos (c).

2.3. Pré-sinalização dos Marcos

O emprego de alvos pré-sinalizados contribui para aumentar a precisão dos produtos cartográficos resultantes e é indicado quando a área a ser coberta não apresenta feições de fácil fotoidentificação, gerando, portanto uma situação inapropriada as etapas de orientação dos modelos aerofotogramétricos conforme Silva e Costa (2009) e Kersten e Meister (1993). Então utiliza-se alvos pré-sinalizados, para produzir alvos fotoidentificáveis bem definidos e em localização previamente definida pelos responsáveis pelo levantamento e apropriada às etapas de orientação (US Army, 2002).

A operação de pré-sinalização deve ter considerar os seguintes aspectos (Redweik, 2007):

A localização das marcas é planejada em função do plano de vôo da área a ser levantada, devendo a mesma está em concordância com os requisitos de distribuição geral e localização estratégica dos pontos de controle e amarração dos blocos, as marcas devem permanecer em terreno plano, com boa visibilidade para cima e longe de objetos altos (edifícios, árvores, aterros).

As dimensões das marcas dependem da escala da cobertura fotográfica que será realizada. A resolução da imagem sobre a qual serão medidas as coordenadas da foto é um critério de partida para determinar a dimensão do alvo pré-sinalizado. Considerando "d" igual ao diâmetro do círculo central (ao lado do quadrado ou ao lado do triângulo respectivamente) como o único parâmetro variável em função do qual se constrói toda a marca, dever-se-á tomar "d" igual a um múltiplo ímpar da dimensão do pixel no terreno (normalmente de 3 a 5 vezes) (Figura 6a). O esquema seguinte sugere as restantes dimensões da marca de centro circular, que se podem adaptar às de centro quadrado ou triangular. Não só a resolução da imagem, como também o contraste local, a luminosidade e as próprias condições atmosféricas na altura em que é realizado o vôo são fortemente determinantes para a boa visualização dos alvos pré-sinalizados na fotografia aérea e conseqüentemente para a precisão da sua medição.

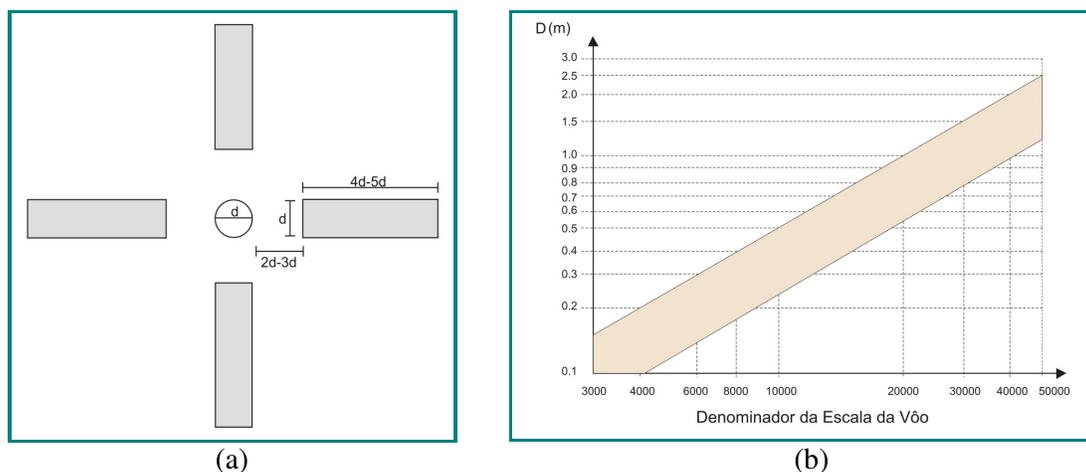


Figura 6 – Referências das Dimensões da Pré-sinalização dos Alvos (a) e Gráfico da Dimensão "d" em metros em função da escala do Vôo (b), (adaptado de Redweik, 2007).

As marcas são geralmente materializadas com tinta, telas plásticas ou tecidos resistentes fixados ao terreno. Na escolha da tinta a ser empregada é preciso considerar o grau de permanência pretendido para a marca. Do ponto de vista fotogramétrico, será desejável que as marcas sejam o mais permanente possível, pois não é aconselhável uma pintura que se deteriore pela ação das intempéries. É fundamental que os alvos sejam pré-sinalizados com

cores que permitam um contraste satisfatório em relação a coloração predominante na imagem, como também deve apresentar dimensões satisfatórias (Elgaard, 2007),.

Tomando como referência os dados expostos na Tabela 1 e entrando com os valores no gráfico da Figura 6b, obteve-se para as dimensões da pré-sinalização o exposto na Tabela 2.

Tabela 2 – Dimensões dos alvos pré-sinalizados.

Levantamento	Largura (m)	Comprimento (m)	Escala cartográfica	Escala do Vôo
Laguna/SC	0,70	3,00	1/5000	1/15000
BR101/PE	0,30	2,10	1/2000	1/6000

Foram calculadas as dimensões da figura da pré-sinalização, e materializadas em campo conforme mostrado na Figura 8, tendo como largura de faixa $d=0,70m$ e comprimento de $L=3,00m$, essas medidas estão embasadas na resolução do pixel (distância amostral do terreno), conform mostra a linha 7 da Tabela 1, que está associada a escala cartográfica de 1/5000, adotada no presente trabalho para o vôo de Laguna/SC.



Figura 8. Dimensões da sinalização e rastreamento dos alvos para o vôo em Laguna/SC (a) e implantação dos marcos para o vôo em Laguna/SC (b).

3. Resultados e Discussão

Vale salientar que a região levantada constitui-se numa área coberta com vegetação rasteira e uniforme e de predominância de áreas alagadas com baixo contraste para a fotoidentificação de alvos para pontos de apoio, mas como pode ser observado na Figura 9a os alvos pré-sinalizados implantados no levantamento de Laguna/SC alcançaram resultados satisfatórios quanto a fotoidentificação. Já a área da BR101/PE constitui-se numa área coberta com monocultura de cana-de-açúcar que têm poucos detalhes e baixo contraste para a fotoidentificação dos pontos de apoio, mas como pode ser observado na Figura 9b os alvos pré-sinalizados implantados alcançaram resultados satisfatórios quanto a fotoidentificação.

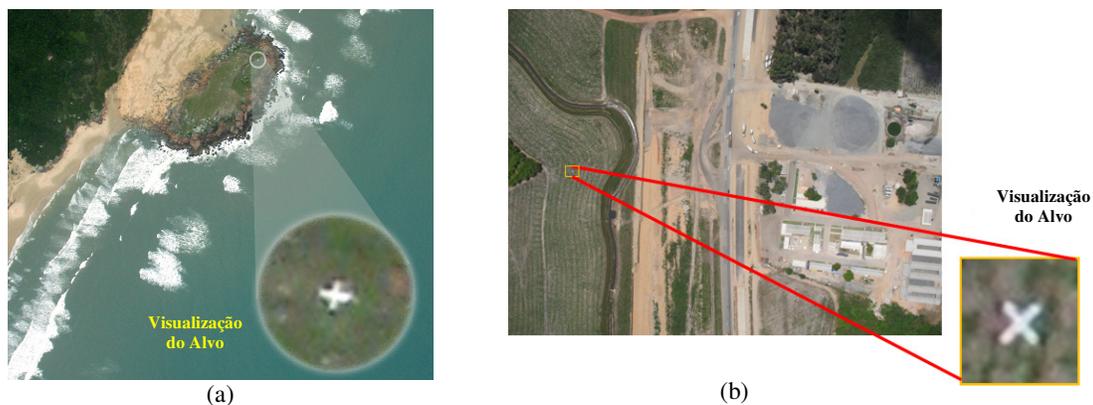


Figura 9. Visualização na aeroimagem do alvo pré-sinalizado do vôo de Laguna/SC (a) e BR101/PE (b).

4. Conclusões

A pré-sinalização de alvos apresentou resultados satisfatórios quanto a seu emprego em aerolevantamentos adotando-se câmeras digitais não-métricas de médio formato e pequeno formato, em relação a fotoidentificação e melhorias na acurácia posicional dos pontos de apoio a aerotriangulação, sobretudo no caso de regiões com poucas feições fotoidentificáveis.

Recomendam-se mais estudos para minimizar custos e tempo de implantação dos marcos, como também avaliar melhor as precisões alcançadas com o seu emprego, objetivando viabilizar sua adoção em aerolevantamentos utilizando câmeras digitais de não-métricas.

Agradecimentos

Deixo expressos meus sinceros agradecimentos a Maia Melo Engenharia e a Diretoria de Hidrografia e Navegação, pelo incentivo ao desenvolvimento deste trabalho.

Referências Bibliográficas

Costa, G. C. **Análise de Produtos Obtidos com Aerolevantamentos Utilizando Câmeras Digitais Não-métricas para Elaboração de Anteprojetos Rodoviários**. Dissertação de Mestrado. Prog. Pós-graduação em Ciências Geod. e Tec. da Geoinformação. DEPART/CTG-UFPE. 2008.

Costa, G. C., Silva, D. C. **Classificação de Mapeamento Aerofotogramétrico Com Imagens Obtidas de Câmeras Não-Métricas Para Fins de Projeto de Estradas**. Revista Brasileira de Cartografia (Impresso), 2009.

Elgaard, S. **Durvey and Mapping in Road Construction**. In: **International Conference Arctic Roads**. Dinamarca: Technical University of Denmark. Cópia obtida diretamente do autor: sve@vd.dk em 26/06/2008.

Kersten, Th.; Meister, M. **Großer Aletschgletscher - Photogrammetrische Auswertungen als Grundlage für glaziologische Untersuchungen**, VPK - Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Nr. 2, 1993, pp. 75-80.

OHI – Organização Hidrográfica Internacional. **IHO Standards for Hydrographic Surveys – Special Publication N° 44**. 5a. Edição. Principauté de Monaco, 2008. 36p.

Pavlis, N. K.; S.A. Holmes, S.C. Kenyon, J.K. **Factor, An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008**, presented at 2008 General Assembly of the European Geosciences Union, Vienna, Austria, April 13-18, 2008.

PDDM. **Project Development and Design Manual**. Washington DC. U.S: Department of Transportation, Federal Highway Administration. 2008. Disponível em: <<http://www.wfl.fhwa.dot.gov/design/manual/>> acesso em 20 de setembro. 2010.

Ramos, A. M.; Hasegawa, J. K.; Tommaselli, A. M. G.; Henrique, B. S. A. **Emprego de fotogrametria digital com imagens coletadas por helicópteros em apoio à determinação de linhas de base das ilhas martim vaz**, II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife - PE, 8-11 de setembro de 2008.

Redweik, P. - **Fotogrametria Aérea**, Departamento de Engenharia Geográfica e Energia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2007. Disponível em: <www.ocartografo.com/apostilas/fotogrametriaaerea/fotogrametriaaerea.pdf> Acesso em: setembro de 2010.

Silva, D. C.; Costa, G. C. **Aerofotogrametria em Projetos de Estradas** In: II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (III SIMGEO), 2010, Recife. CPGCGTG. , 2010. v.1. p.1 - 13

US Army. **Photogrammetric Mapping – EM 1110-1-1000 – Engineer Manual (Series Engineering and Design)**. U.S. Army Corps of Engineers. Washington DC, Estados Unidos: 2002.