
PRÉ-SINALIZAÇÃO DE PONTOS DE APOIO EM AEROFOTOGRAMETRIA COM CÂMERAS DE PEQUENO FORMATO

GLAUBER CARVALHO COSTA
DANIEL CARNEIRO DA SILVA

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação
Av. Acad. Hélio Ramos, s/n – Cidade Universitária – Recife-PE - 50740-530
glaubercad@bol.com.br
danielcs@ufpe.br

RESUMO – A fotogrametria tem sido usada com sucesso em projetos de implantação e conservação de rodovias e ferrovias por todo o mundo e também no Brasil. Porém para o caso de uso de fotogrametria com câmeras de pequeno formato e também quando se trata do emprego de pré-sinalização para melhorar a precisão do apoio à fototriangulação para aqueles projetos, os exemplos são raros e as metodologias de trabalho necessitam ainda de melhor divulgação. Neste artigo será apresentada uma análise do emprego de marcos planialtimétricos pré-sinalizados, destinados ao apoio à aerotriangulação, orientação das imagens e restituição de aerolevanteamento fotogramétrico com câmera digital de pequeno formato não-métrica. O levantamento foi realizado numa área teste visando aplicações em projetos rodoviários, localizada no trecho da BR-101/Norte em Pernambuco. Foram implantados 43 marcos planialtimétricos antes do voo, com coordenadas coletadas com receptores GPS geodésicos e nível eletrônico, que posteriormente foram empregado nos testes de precisão e acurácia do mapeamento obtido com o levantamento aerofotogramétrico. São discutidos os resultados em termos de custos de implantação e da precisão da fototriangulação.

ABSTRACT – Photogrammetry has been used successfully in implementation and conservation projects of highways and railroads around the world and also in Brazil. However, for the case of using photogrammetry with small format cameras and when it deals with the use of pre-signalization to improve the accuracy of the support to phototriangulation for those projects, the examples are rare and the work methodologies need better divulgation. In this article, an analysis of the use of planialtimetric pre-signalized marks, to be used in support to aerotriangulization, image orientation and restitution of aerial photogrammetric surveying with a non-metric small format digital camera, is showed. The surveying was performed in a test area aiming to be used in road projects, located in the part of the BR-101/North in Pernambuco. Forty Three marks were planted before the flight, with coordinates collected with geodesic GPS receivers and an electronic level, that were after used in the precision and accuracy tests of the map obtained with the aerial photogrammetric survey. The results are discussed in what relates to the implementation costs and the phototriangulation accuracy.

1. INTRODUÇÃO

Os levantamentos fotogramétricos convencionais podem ser substituídos por sistemas de baixo custo em algumas aplicações, como em monitoramento florestal, ambiental, oceanográfico, planejamento urbano, rural e em estudos e projetos na engenharia (Francelino et al, 2005; Piovesan et al, 2004; Hasegawa et al, 2004; Ruy et al, 2007; Costa et al, 2007). Os sistemas alternativos têm sido estudados e desenvolvidos com câmeras digitais de pequeno formato (Silva et al, 2005; Ruy et al, 2007; Silva, 2008) sendo que uma das áreas de maior uso potencial de aerofotogrametria com essa tecnologia é nas fases iniciais de projetos rodoviários (Costa, 2008). Porém os projetos de engenharia, de modo geral, exigem uma maior precisão das plantas e mapas topográficos, sendo fundamental que os levantamentos fotogramétricos tenham garantia de melhor qualidade posicional em planimetria e altimetria, necessidade que é ainda mais exigida ao se empregar a fotogrametria alternativa. Entre os tópicos de otimização de precisão de um levantamento fotogramétrico está a pré-sinalização.

O emprego da pré-sinalização é uma prática antiga, recomendada por normas e instruções internacionais, para a fiscalização e execução de projetos viários a partir de levantamentos aerofotogramétricos convencionais (New Jersey, 2008; US Army, 2002).

No Brasil a aerofotogrametria tem sido usada regularmente nas fases iniciais de projetos rodoviários e ferroviários, mas não é comum o uso de pré-sinalização, como também não é o uso de câmeras de pequeno formato, apesar de ser possível alcançar as mesmas precisões da fotogrametria convencional (Costa, 2008), quando os devidos cuidados são tomados.

Este artigo tem o objetivo de mostrar um exemplo completo de uso da pré-sinalização, como forma de melhorar o apoio de campo para a fototriangulação. Neste sentido foi realizado um levantamento aéreo com câmera digital não métrica numa área teste, localizada no trecho da BR-101/Norte em Pernambuco, e implantados marcos planialtimétricos pré-sinalizados. São analisadas as questões do ponto de vista operacional dos trabalhos de campo e de precisão para o emprego de marcos pré-sinalizados em levantamentos aerofotogramétricos com câmeras não métricas.

2. AEROLEVANTAMENTO

Para a realização do aerolevanteamento foi adotada a sistemática que obedeceu ao diagrama da Figura 1.

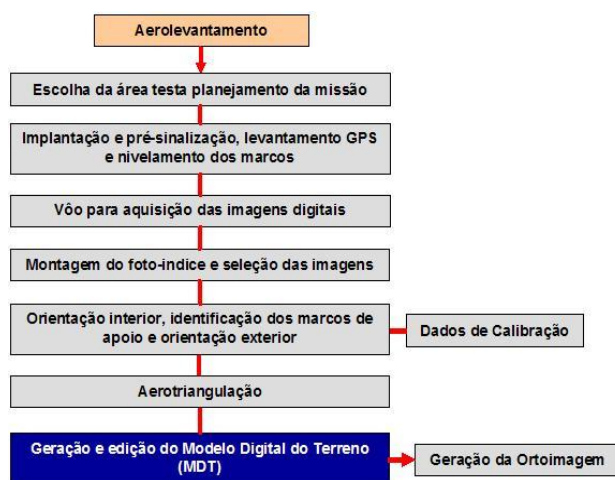


Figura 1 – Fluxograma do aerolevanteamento.

As fotografias aéreas digitais foram obtidas com uma câmera digital da marca Canon modelo A-640, capaz de registrar imagens com uma resolução efetiva de 10 Mpixels (3648 x 2736 pixels), com distância focal de 7,40 mm, previamente calibrada. As especificações do plano de vôo constantes na Tabela 1, foram calculadas a partir dos parâmetros determinados pela calibração e da escala cartográfica pretendida ao produto final, que nesse estudo foi de 1:2000.

Tabela 1 – Dados do planejamento de vôo.

Velocidade de Cruzeiro	150 km/h	
Altitude de Vôo	740 m	
Intervalo de Tomada das Imagens	4 Seg	
Recobrimento Longitudinal	60%	
Recobrimento Transversal	30%	
Extensão no terreno	Longitudinal	510 m
	Transversal	680 m
Resolução (Distância amostral do terreno)	0,19 m	
Escala Cartográfica da Restituição	1:2000	

2. IMPLANTAÇÃO DOS MARCOS

Os marcos de pré-sinalização foram planejados para cobrir uma faixa mais larga que a necessária para o projeto rodoviário e em maior número que o necessário, para se ter maior grau de liberdade nos testes posteriores de precisão. Deste modo foi criada uma malha constituída de 43 marcos levantados planimetricamente com equipamento de posicionamento por satélite e altimetricamente com nível eletrônico (Figura 1).

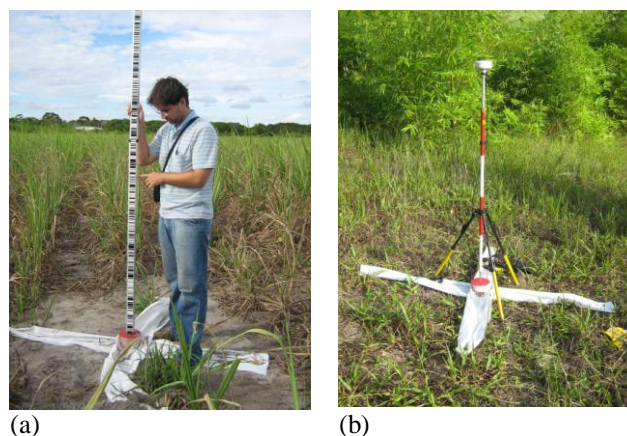


Figura 2 – Levantamentos do marcos pré-sinalizados, (a) altimétrico (b) planimétrico.

Os marcos foram confeccionados em forma cilíndrica em concreto com dimensões padronizadas de 30cm de altura por 10cm de diâmetro. Foram implantados em campo e depois medidas as coordenadas, com o auxílio de equipamentos devidamente testados e calibrados, como estação total, nível eletrônico e receptores GPS geodésicos e de navegação.

O receptor GPS de navegação foi adotado na etapa de reconhecimento e serviu de orientação para definição em campo do posicionamento dos marcos de referência, segundo as localizações pré-planejadas (Figura 2).

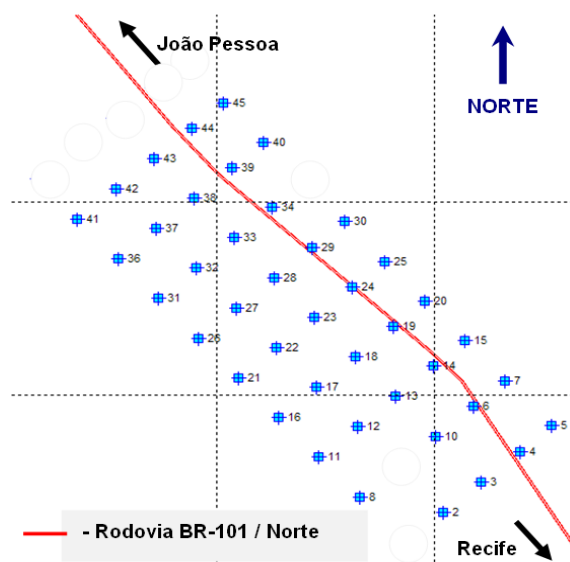


Figura 2 – Plano de localização dos marcos de referência.

Devido ao elevado número de marcos previstos, foram determinadas as alturas ortométricas de apenas seis pontos de referência altimétricos distribuídos ao longo da área de estudo, por nivelamento geométrico. Posteriormente estas alturas foram utilizados como referência para o cálculo da ondulação geoidal e transformação das alturas geométricas dos demais marcos não nivelados. Esse procedimento foi adotado visando minimizar custos e tempo de

execução dos levantamentos, pois como a área levantada tem extensão menor que 2,5km, as diferenças da ondulação geoidal entre a média e os pontos individuais foram de poucos milímetros.

3. PRÉ-SINALIZAÇÃO DOS MARCOS

A pré-sinalização é uma marcação artificial no terreno possível de ser identificada na imagem ou fotografia aérea. O objetivo mais comum para os pontos foto-identificáveis pré-sinalizados é proporcionar medições mais precisas das coordenadas de pontos de apoio necessários na fototriangulação convencional. Em certos projetos de fotogrametria terrestre é a única forma de serem obtidos pontos bem definidos sobre superfícies lisas e também em levantamentos especiais para cadastros de imóveis podem ser pré-sinalizados os cantos de propriedades. O emprego de alvos pré-sinalizados de modo geral contribui para aumentar a precisão dos produtos cartográficos resultantes e podem produzir alvos foto-identificáveis bem definidos em localização apropriada às etapas de orientação exterior e previamente definida pelos responsáveis pelo levantamento (US Army, 2002). Para o planejamento e implantação de pré-sinalização devem ser considerados os seguintes aspectos (Redweik 2007):

3.1 Localização

A localização das marcas é planejada em função do plano de vôo da área a ser levantada, e deve estar em concordância com os requisitos de distribuição geral e localização estratégica dos pontos de controle e amarração dos blocos. As marcas devem ser dispostas em terreno plano, com boa visibilidade de cima e longe de objetos altos (edifícios, árvores, aterros). Quanto maior o número de fotos em que um mesmo ponto é medido mais confiáveis serão os valores finais das coordenadas calculadas.

3.2 Dimensões

As dimensões das marcas dependem da escala da cobertura fotográfica que será realizada. A resolução da imagem digital sobre a qual serão medidas as coordenadas da foto é um critério de partida para determinar a dimensão do alvo pré-sinalizado. Normalmente considera-se "d", igual ao diâmetro do círculo central (Figura 3), como sendo o parâmetro inicial, em função do qual se constrói toda a figura da marca, que deve ter um valor igual a múltiplo ímpar da dimensão do pixel no terreno (normalmente de 3 a 5 vezes). O esquema da Figura 3 sugere as demais dimensões da marca, que podem ser adaptadas para os formatos quadrado ou triangular. Não apenas a resolução da imagem, como também o contraste local de cores, a luminosidade e as próprias condições de visibilidade da 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.

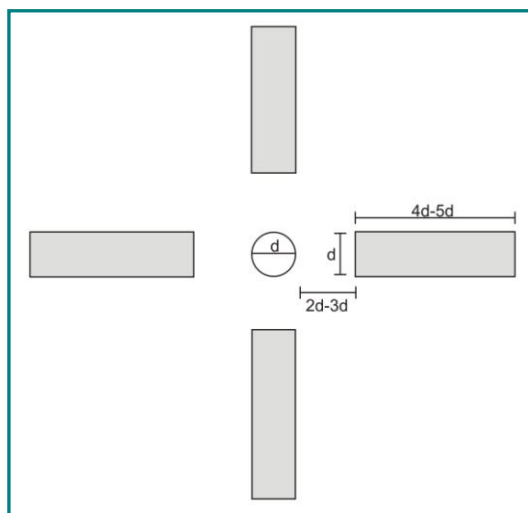


Figura 14 – Referências das Dimensões da Pré-sinalização dos Alvos
(Fonte: adaptado de Redweik, 2007).

3.3 Materiais de construção

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 tempo de permanência pretendido para a marca. Do ponto de

vista fotogramétrico, é desejável que as marcas sejam as mais permanentes possíveis, pois não é conveniente que a pintura que se deteriore pela ação das intempéries antes da realização do voo e da medição. É fundamental que os alvos sejam pré-sinalizados com cores que permitam um contraste satisfatório em relação a coloração predominante do entorno, como também deve apresentar dimensões satisfatórias.

3. 4 Formas

Os desenhos sugeridos para sinalização dos alvos são as formas em Cruz, T e Y, como esquematizados na Figura 4 (Wolf, 1983; US Army, 2002). É importante que o centro de cruzamento da sinalização seja coincidente com o marco implantado em campo, pois o mesmo terá suas coordenadas tridimensionais medidas posteriormente e utilizadas como pontos de apoio.

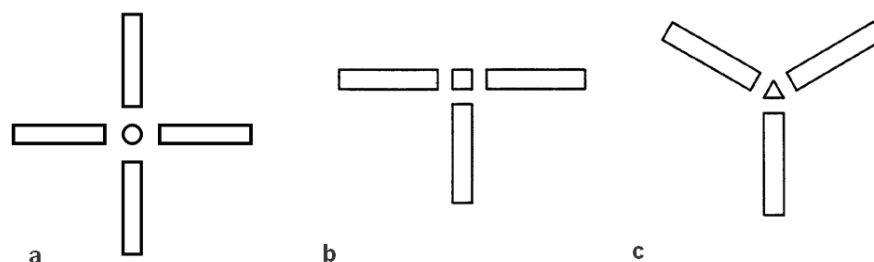


Figura 4 - Desenhos Típicos da Sinalização dos Alvos
(Fonte: Adaptado de US Army, 2002).

Para o presente trabalho foi planejada a pré-sinalização considerando o tamanho do pixel no terreno de 0,19 m, que equivale a uma escala cartográfica do produto final de 1:2000. Essas informações serviram de parâmetros iniciais para a elaboração do plano de voo (Tabela 1), como também para o dimensionamento das figuras geométricas das marcas da pré-sinalização.

Tomando como referência os dados da Tabela 1 e entrando com os valores no gráfico da Figura 5, foi obtido o valor de 0,30m como o recomendado para a dimensão “d”, e que deve permitir uma perfeita visualização do marco na fotografia.

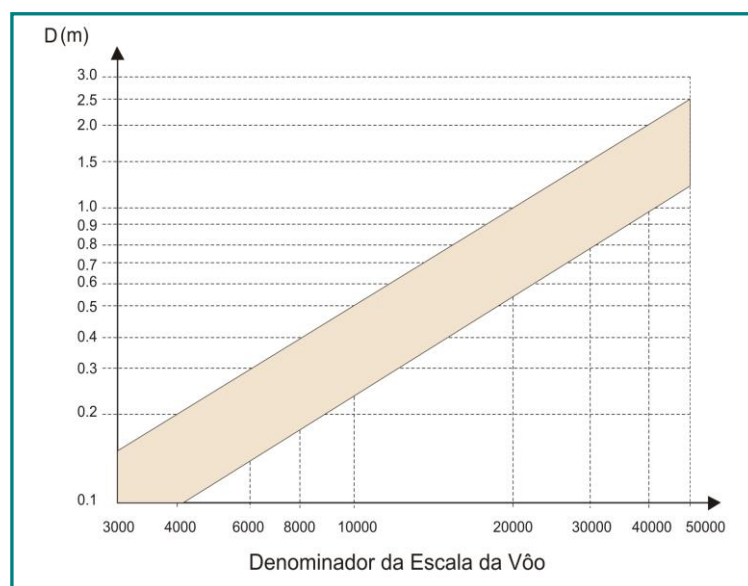


Figura 5 – Gráfico da Dimensão “d” em metros em função da escala de Vôo.
(Fonte: adaptado de Redweik, 2007).

Em seguida foram calculadas as demais dimensões da figura em cruz, escolhida para a pré-sinalização e materializada em campo (Figura 6), tendo como largura de faixa $d=0,30\text{m}$ e comprimento $L=2,10\text{m}$.

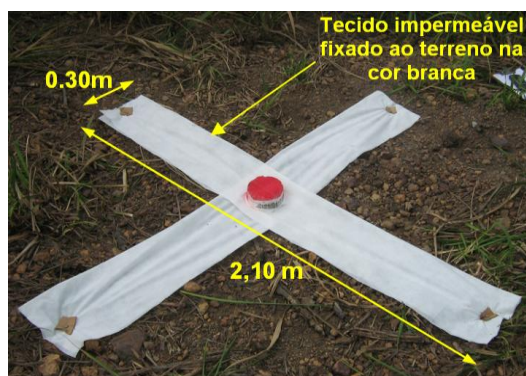


Figura 6 – Dimensões da Sinalização dos Alvos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A visualização da cruz projetada nas fotografias obtidas ficou bem nítida, como mostrado no detalhe ampliado da Figura 7, portanto o procedimento de cálculo foi adequado.



Figura 7 – Visualização na fotografia aérea do alvo Pré-sinalizado.

É importante salientar que a região levantada é constituída de área coberta com monocultura de cana-de-açúcar que tem poucos pontos nítidos e apresenta baixo contraste para a fotoidentificação dos pontos de controle, mas os alvos pré-sinalizados implantados estão perfeitamente visíveis.

Objetivando avaliar a acurácia posicional de mapeamento aerofotogramétrico com os marcos pré-sinalizados, foram processadas duas faixas do voo realizado, considerando duas situações, sendo uma em que são tomadas 10 pontos de controle numa configuração mínima para os cálculos da aerotriangulação, pontos nos extremos, entre as faixas e no centro, (Figura 8c e 8d), e outra situação considerando 19 pontos de controle distribuídos ao longo das duas faixas (Figura 8a e 8b).

Conforme mostram os resultados nas Figura 8b e 8d o RMSE (Root Mean Square Error) dos pontos de controle variam entre 0,10m e 0,23m e portanto não apresentam diferenças significativas entre os dois ajustamentos. Os valores de RMSE para a planimetria entre 0,10m e 0,17m, representam cerca de 50 a 100% do tamanho do pixel. Sem análises mais rigorosas, quanto à propagação de erros da fototriangulação até a restituição, os valores são bem menores que o

erro aceitável pelas normas da cartografia ainda em vigor: Para a escala 1:2000, o PEC é de 1,0m, ou seja, 90% do pontos bem identificados devem apresentar discrepâncias menores que 1,0m. Os testes estatísticos de Costa (2008) mostram que usando esses valores de RMSE, uma ortofoto produzida da área de teste na escala 1:2000 obteve a classificação “A”.

Nesse experimento, o maior número de pontos de controle para o cálculo da aerotriangulação não otimiza significativamente a qualidade dos resultados, visto que aumenta a rigidez do bloco. A relevância dessa constatação está no fato que para os levantamentos das coordenadas dos pontos de controle, exige-se tempo e mão-de-obra para realizá-lo, portanto quanto mais pontos de controle, maior o custo dos trabalhos de campo.

Teve-se ter cuidado, no entanto, para que o espaçamento entre os pontos de apoio não seja superior a três modelos consecutivos e por outro lado deve ser lembrado que mais pontos de apoio aumentam a confiabilidade do ajustamento e facilita a detecção de erros.

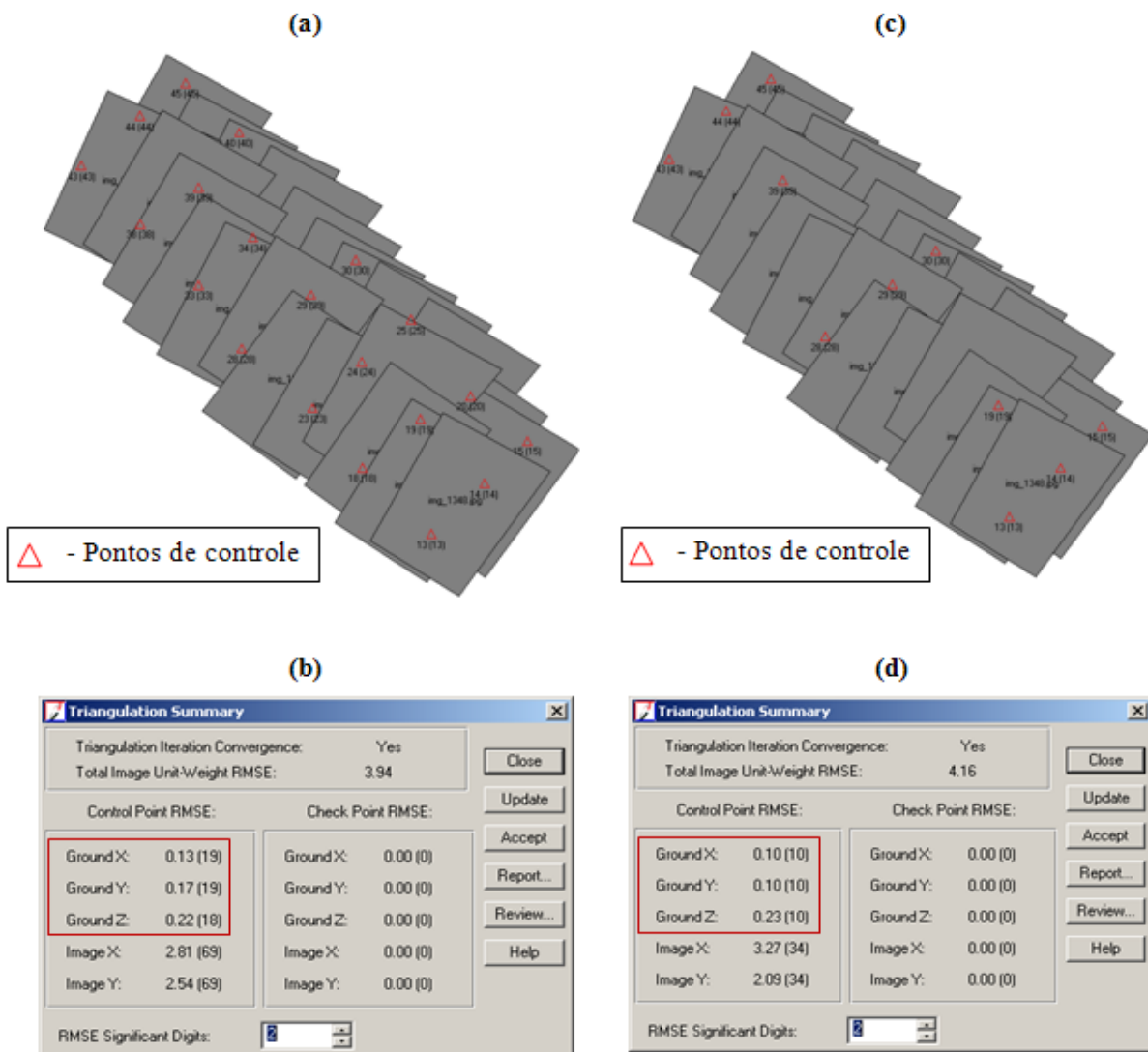


Figura 8 – Resultados de processamento da Aerotriangulação com 10 e 19 pontos de apoio.

Os fatores que podem influenciar nos resultados da aerotriangulação estão associados a um somatório de fatores como: as inclinações da aeronave durante a tomada das imagens, que prejudica as superposições entre as imagens; erros grosseiros na fotoidentificação dos pontos de controle; erros na coleta das coordenadas dos pontos de controle em campo; e por fim a distribuição dos pontos nas áreas de superposição entre modelos em cada faixa e entre faixas.

5. CONCLUSÕES

O emprego de alvos pré-sinalizados envolve custos adicionais significativos em termos de planejamento, implantação e medições, para um projeto de mapeamento por fotogrametria, mas pode ser a garantia de precisão exigida quando forem usados sistemas alternativos com câmeras digitais de não-métricas. A pré-sinalização garante melhor fotoidentificação e melhorias na acurácia posicional e altimétrica dos pontos de apoio para a aerotriangulação, sobretudo no caso de regiões com monoculturas e poucos detalhes definidores de pontos.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Decreto Lei 89.817**, de 20 de Junho de 1984. Disponível em: <http://www.presidencia.gov.br/CCIVIL/decreto/1980-1989/D89817.htm>. Acesso em: 20 de jan. 2011.

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

COSTA, G. C.; SILVA, D. C.; BEZERRA, A. L.; MOURA, A. R. U. **Avaliação de uso de sistemas de baixo custo para formação de mosaicos digitais em pesquisas oceanográficas**, 2007, II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Presidente Prudente - SP, julho de 2007.

DNT. **Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários Escopos Básicos/Instruções de Serviço**, 3ª edição, 2006. DNIT - Departamento Nacional de Infra-estruturas de Transportes Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/>>. Acesso: 20 janeiro 2011.

FRANCELINO, M. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; SCHAEFER, C. E.; REZENDE, S. B. **Fotografias aéreas não-convencionais: uma alternativa de monitoramento ambiental na antártica marítima**. In: V Simposio Argentino y I Latinoamericano sobre Investigaciones Antárticas, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, 4p. 2004.

HASEGAWA, J. K.; IMAI, N. N.; CAMARGO, P. O. **Sistema de Aquisição e Processamento de Dados Georreferenciados para Aplicações em Agricultura de Precisão**. In: COBRAC - Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, UFSC Florianópolis, 7p. 2004.

ILMB. **Small & Medium Format Digital Camera Specifications**, 2007. ILMB; Ministry of Agriculture and Lands Integrated Land Management Bureau Base Mapping and Geomatic Services Branch,, Disponível em: <<http://ilmbwww.gov.bc.ca/bmgs/pba/trim/specs/Dig%20Cam%20Specifications%20ver0%2011.pdf>>. Acesso: 20 julho 2011.

NEW JERSEY. **Minimum Guidelines for Aerial Photogrammetric Mapping**. NEW JERSEY, Department of Transportation. The State The New Jersey. Disponível em: < www.state.nj.us/transportation/eng/documents/photogrammetry/Section9.htm>. Acesso: 18 junho 2011.

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.

PIOVESAN, E. C.; SILVEIRA, G. C.; GONÇALVES, J. C. C. **Perspectivas Futuras para o Projeto SOFIA (Sistema de Obtenção de Fotos e Imagens com Aeromodelo)**. 2004. COBRAC - Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, UFSC Florianópolis, 7p.

REDWEIK, P. - **Fotogrametria Aérea**, Departamento de Engenharia Geográfica e Energia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2007. Disponível em:
<<http://snig.igeo.pt/snig-educ/ficheiros/Paula%20Redweik/>> Acesso em: março de 2010.

RUY, R. S.; TOMMASELLI. A. M. G.; REIS. T. T. **Sistema Aerotransportado Leve de Aquisição de Imagens Digitais- SAAPL**. In: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 1329-1335. 2007.

SILVA, D. C. **Non-Metric Digital Camera Images Versus High Resolution Satellite Images in Regions with High Cloudiness**. In: XXIII INTERNATIONAL FIG CONGRESS, 2006, Munique: XXIII International FIG Congress Proceedings. International Federation of Surveyors, 2006.

SILVA, D. C.; MELO, I. D. F.; OLIVEIRA, R. N. **Alta Resolução com uso de Câmaras Digitais de Baixo Custo para Mapeamento**. 2005, Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, INPE, p. 4561-4568.

WOLF, PAUL R; **Elements of Photogrammetry; with Air Photo Interpretaton and Remote Sensing** New York, McGraw-Hill Book Co., 1983.