

VÔO APOIADO

José Bittencourt de Andrade

Reynaldo Bittencourt Souto

Lívio Alarma Zunino

Regina do Rocio de Andrade

Geokosmos Ltda
Rua Frei Francisco Mont'Alverne, 844
81540-410 Curitiba, PR, Brasil
Fone (041-366-3634
FAX (041) 266-7444

RESUMO

No Congresso da ISPRS de 1992, em Washington, Bittencourt de Andrade e Magro apresentaram um trabalho sobre este mesmo tema, baseado em dados simulados. No mesmo conclave, o Prof. Ackermann e seus colegas apresentaram trabalho sobre o mesmo tema, porém com dados reais. As conclusões dos dois trabalhos tiveram muitos pontos em comum. Assim, a GEOKOSMOS com a ENGEFOTO resolveram desenvolver tecnologia própria nessa área. Isto resultou na implementação de um pacote de programas de aerotriangulação analítica, de navegação e no desenvolvimento de um interface entre o GPS e a câmera aérea, em virtude de não existir no mercado equipamento que pudesse ser adaptado a câmeras mais antigas. Embora as experiências devam continuar no sentido de aperfeiçoar a metodologia alcançada, muitos resultados alentadores já foram conseguidos e estão sendo discutidos no presente trabalho.

ABSTRACT

In the 1992 ISPRS Congress, at Washington, a paper was sowed by Bittencourt de Andrade and Magro on this subject, based on simulated data. In the same event, Prof. Ackermann and his colleagues presented also a paper on the same theme using real data. The conclusions on both papers have many common points. Therefore, GEOKOSMOS and ENGEFOTO decided to develop their own technology on the subject. The result was the implementation of a computer software for analytical aerotriangulation, navigation and the development of a interface for GPS receiver and aerial camera, due to the fact that no specific equipment exists on the market for old cameras. In spite of the fact that the experiments must be continued in order to get a more advanced technology, many of the results presented on this paper are very encouraging.

1. Introdução

O uso de dados auxiliares para a aerotriangulação obtidos durante a cobertura fotogramétrica é uma prática antiga. Assim, já foram utilizadas câmeras de horizonte, altímetros diferenciais, determinações de coordenadas dos centros de perspectiva por trilateração por meios eletrônicos etc. Todos os meios utilizados até hoje para a determinação das coordenadas dos centros de perspectiva das aerofotos, bem como a atitude da câmera eram de difícil obtenção. O sistema de navegação por satélites artificiais NAVSTAR-GPS está superando todas as antigas dificuldades e mostra avanços que claramente conduzirão a total eliminação dos pontos de apoio terrestres, como tal. Esta afirmativa não está significando a eliminação integral dos trabalhos geodésicos de campo, pois, o próprio vôo apoiado exige, em sua metodologia, pelo menos um ponto conhecido na área a ser fotografada, para viabilizar a navegação diferencial. Além disso, as altitudes geométricas (relativas ao elipsóide) devem ser convertidas em altitudes ortométricas (relativas ao geóide). Num trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Cartografia, Andrade (1987), já foi afirmado que apenas os métodos diferenciais teriam grande potencial para o uso do GPS em geodésia. Hoje, já dispomos de instrumentos que podem determinar com elevada segurança as coordenadas dos centros de perspectiva (desvio padrão da ordem de 20cm), bem como a medição dos ângulos Eulerianos com precisão da ordem de 30 segundos de arco, como é o caso do receptor GPS 3DF fabricado pela ASHTECH. Estes fatos mudam o panorama atual da fotogrametria, exigindo estudos e análises desta nova e promissora ferramenta que passamos a dispor.

Por esse motivo, a Geokosmos, associada a empresa Engefoto S/A resol-

veu colocar em termos práticos o vôo apoiado, visando não apenas o credenciamento tecnológico para a execução de vôos apoiados, bem como para estudar as potencialidades e atuais limitações inerentes a essa nova tecnologia.

2.- O Projeto de Vôo Apoiado

Em um Congresso Brasileiro de Cartografia, Andrade (1989), apresentou um trabalho sobre navegação de sensores, onde foram analisadas as potencialidades do GPS para posicionar dados de qualquer tipo de sensor transportado. Como segundo passo, foi realizado um projeto de pesquisa em colaboração com o Professor Magro da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, onde trabalhou-se com dados simulados. Esse trabalho, Magro(1992), foi apresentado em Congresso da Sociedade Internacional de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, em Washington, sob o título GPS & AEROTRIANGULATION, onde ficou demonstrado o elevado potencial da nova metodologia. Três experiências foram descritas no referido trabalho, mostrando o potencial e as limitações do vôo apoiado. Nessas experiências foi tratado um pequeno bloco de 16 aerofotos na escala de 1:10000, tendo as coordenadas dos centros de perspectiva exatidão da ordem de 2 metros e os ângulos Eulerianos da ordem de 3 minutos de arco. Concluiu-se que os dados GPS dão a necessária rigidez ao bloco que pode funcionar com o mínimo de pontos de apoio convencional, não necessitando de nenhum ponto adicional para esse fim. A exatidão dos dados GPS utilizados eram os melhores possíveis na época. Entretanto, para passar de pesquisa com dados simulados para dados reais, muitos problemas devem ser resolvidos. O receptor GPS de bordo recebe um pulso da câmera fotogramétrica no instante da tomada de uma aerofoto. Aí reside o pri-

meiro problema a resolver. Para que instante devemos ter as coordenadas? No instante correspondente ao meio intervalo do tempo de exposição ou ao instante correspondente ao centro da máxima iluminação? Decidido qual o instante mais correto, como obtê-lo? Que algoritmo será mais adequado para processar a interpolação das coordenadas? O menor intervalo de tempo para a obtenção de observações GPS evidentemente será o melhor para garantir melhores resultados, mas pode demandar em alto potencial de memória necessária para armazenar tal massa de dados. Os receptores ASHTECH podem registrar dados a cada 0,5 segundos e tem memória suficiente para tal. Como entre uma foto e outra ocorrem alguns segundos, tal massa de dados é ótima. Para resolver a questão da determinação do instante mais adequado a ser adotado como o da tomada da aerofoto, desenvolvemos um sensor capaz de medir intervalos de tempo muito pequenos e com precisão de 0,5 milésimos de segundo. Verificamos que a câmera Zeiss utilizada na experiência apresentava razoável constância nos intervalos de tempo de exposição, principalmente para os intervalos mais curtos. Entretanto, a variação detectada mostrava que seria impossível discriminar entre o centro do intervalo total de exposição e o centro do intervalo de máxima exposição. Como segundo passo, procuramos determinar o intervalo de tempo decorrente entre a emissão do sinal do intervalômetro e o início da abertura do obturador. Verificamos que esse intervalo de tempo é muito variável e totalmente imprevisível, o que confirmamos em literatura provida pela Zeiss, mostrando que nos modelos recentes esse problema já não existe. Restou-nos, assim, duas opções: encontrar um evento para o qual o intervalo de tempo entre ele e o instante da abertura do obturador fosse constante, ou colocar um sen-

sor no cone da câmera. A primeira solução, que é mais simples, infelizmente não foi possível. Uma vez montado e testado o referido sensor, foi planejado um teste na cidade de Farroupilha no Rio Grande do Sul, onde seria executada uma cobertura fotogramétrica na escala de 1:8000 e com apoio convencional para a aerotriangulação com GPS. Com tal arranjo, cria-se a possibilidade de testar os resultados de aerotriangulação analítica de um vôo apoiado com a aerotriangulação, também analítica, mas com apoio convencional. Para atingir esse objetivo, foi elaborado um pacote de programas para realizar aerotriangulação analítica com injunções para as coordenadas dos centros perspectivos, bem como para os ângulos de atitude. Esse pacote de programas foi desenvolvido segundo o "bundle method", com pre-processamentos para detecção e eliminação de erros superiores a 1,5 do desvio padrão.

Para a interpolação de coordenadas dos centros de perspectiva foi desenvolvido um programa de ajustamento com Filtro de Kalman.

O recobrimento aéreo da região urbana de Farroupilha consistiu de sete faixas, totalizando 157 aerofotos na escala de 1:8000, tomadas com câmera Zeiss RMK.

As experiências consistiram, numa primeira fase, da comparação entre as coordenadas dos centros de perspectiva obtidos via aerotriangulação convencional com as mesmas determinadas via GPS. Nesta fase, constatamos que algumas fotografias "fantasmas", problema que foi resolvido com o ajuste de sensibilidade do conjunto sensor-interface. Foi ainda constatada uma diferença da ordem de 18 metros segundo a ordenada X, ou seja, na direção transversal ao vôo que foi norte-sul. Até o momento não conseguimos desco-

brir as causas de tal erro sistemático¹. Na segunda fase, eliminando o erro sistemático de 18 metros, mesmo sem conhecer suas causas, passamos a processar o bloco com o conhecimento das coordenadas dos centros de perspectiva, eliminando, gradativamente os pontos se apoio do centro da área, como indicavam ser possível as experiências com dados artificiais.

Por não dispormos de um receptor 3DF, a experiência ficou restrita à determinação das coordenadas dos centros de perspectiva, sem a medição dos ângulos Eulerianos.

A antena do receptor GPS foi instalada segundo a vertical que contem o centro de perspectiva da câmera com a aeronave em posição de vôo nivelado. A distância antena-centro de perspectiva foi medida para posterior redução das coordenadas da antena para o centro de perspectiva no processamento do bloco de aerofotos.

3. Resultados

A comparação dos resultados entre as aerotriangulações, com apoio terrestre total e com o vôo apoiado mostrou desvio médio quadrático praticamente constante no procedimento de eliminação de pontos de apoio terrestre do centro do bloco e começou a sofrer alterações mais significativas apenas quando experimentou-se eliminar pontos da periferia do bloco. A variância da unidade de peso "a posteriori" passou de 0,83 para 0,65, o que era esperado em virtude das injunções aplica-

¹ Este trabalho foi apresentado no Congresso da SBC de 1993, mas não foi publicado nos respectivos Anais em virtude de ser concluído em tempo hábil. Um mes mais tarde, constatou-se que o erro sistemático de 18 metros era causado por um valor errado de coordenadas de marcas fiduciais. Estas estavam em sistema de máquina, quando se esperava que fossem no sistema fotogramétrico como é usual. Tal erro provocou um deslocamento do ponto principal da ordem de 2,25mm, ou algo como 18 metros no terreno.

das. Os resíduos das coordenadas de foto não sofreram alteração estatisticamente significativa. Nas coordenadas de campo, as maiores diferenças oscilaram entre 20 e 30 cm e os resíduos dos pontos de apoio terrestre restantes diminuíram drasticamente, o que também era esperado.

4. - Conclusões

O vôo apoiado, mesmo sem o conhecimento dos ângulos Eulerianos, mostrou-se potencialmente viável, mesmo para a escala de 1:8000 quanto ao aspecto precisão. Os resultados são muito promissores e já é possível garantir totalmente a aplicabilidade do vôo apoiado em levantamentos sistemáticos, quando se opera com fotografias nas escalas de 1:25000 ou menores, reduzindo o apoio terrestre provavelmente a um único ponto bem determinado.

Segundo o aspecto econômico, torna-se necessário considerar que o vôo apoiado sofre as mesmas restrições de um vôo fotogramétrico normal, isto é, depende de condições atmosféricas ótimas, o que pode redundar em tempo de espera superior ao necessário para a elaboração de um apoio terrestre normal com GPS, comprometendo o aspecto econômico.

Entretanto, nas áreas de difícil acesso terrestre ou de muita cobertura vegetal, sem dúvida o vôo apoiado tornará viável o projeto sob todos os aspectos.

5. - Referências Bibliográficas

ANDRADE, J.B. - "Posicionamento: O que Virá?" - Congresso Brasileiro de Cartografia, 1987.

ANDRADE, J.B. et alli. - "Navegação de Sensores - Congresso Brasileiro de Cartografia, 1989.

ANDRADE, J.B. - Injunções num Referencial Local" Boletim de Geodésia (38)
- UFPR - Curitiba, 1989.

ANDRADE, J.B. - "Primeiras Experiências no Brasil com o Método Pseudo-Cinemático de Posicionamento por GPS" - Congresso Nacional de Engenharia de Agrimensura - Teresina, 1989.

ANDRADE, J.B. "Modelos Matemáticos do GPS" XXXV Congresso Brasileiro de Geologia - Belem, 1988.

ASHTECH INC. - "Vehicle Navigation Using Differential GPS" - 1991.

ASHTECH INC. - "Real Time Differential GPS with Ashtech XII" 1991.

MAGRO, F.S.; ANDRADE, J.B. - 'GPS 7 Aerotriangulation' - ISPRS 1992.