

PRODUÇÃO DE CARTAS A PARTIR DE IMAGENS DE SATÉLITE

Ulf G. Kihlblom*
Luís Antonio de Andrade **

***SSC SATELLITBILD**
Branch office Overseas Sales
P.O.Box 4207, S-171 04 Solna, Sweden
Telex 17128 Spanco S, Telefax +468984975
Office, Abbygatan 107, Solna

****QUADRICON COM. E REP. LTDA.**
Av. Presidente Antonio Carlos, 51/6º andar
20020-030 Rio de Janeiro, RJ, Brasil
Tel: (021)240.4761/262.8467
Fax: (021)262.1103

Abstract. More and more countries realize that the existence of reliable maps is the key to successful planning of the development of the country. During the past four decades the majority part of the mapping which has been carried out throughout the world, including medium and small scale mapping, has been based on aerial photography and produced using photogrammetric techniques. Technological advances have resulted in the development of improved aerial cameras, high resolution aerial films, analytical instruments permitting digital data capture, powerful computer software for block adjustments and data manipulation, orthophoto projectors and other automatic systems. Despite these technological advances, the 1989 United Nations report on the status of the world's topographic mapping reveals that only 33 per cent of the world has been mapped on the scale of 1:25.000, 56 per cent on the scale of 1:50.000 and 59 per cent on the scale of 1:100.000. The annual progress of new production between 1980 and 1987 has been of the order of 2 per cent. During the 1970 the annual production was only 1-1,5 per cent. These figures give no indication of the considerable need for revision of a majority of the existing map sheets. The lack of reliable mapping is a particularly serious constraint within the fields of rural development and the planning of the use and management of natural resources. Accurate and up-to-date, knowledge about the present situation allows decision makers to avoid costly mistakes for the national economy in respect of national investments and development directions of the nation. To cover an entire country with new maps on a scale suitable for the regional resources review and development planning by using the traditional mapping technique, is normally a task of twenty to thirty years. This situation has rapidly changed since 1986, when the first civilian satellite suitable for use in cartography became available. The French-Swedish SPOT satellite is the first and only cartographic satellite system. The time saving aspect of this new satellite mapping technique was probably the most important fact, when so many countries and world organizations, like WB, UN and FAO, decided to use the satellite technique as the base material for national resource inventory and planning. The use of Satellite Image Maps varies from the revision of existing maps through environmental protection planning, agricultural development, rural development, land use inventory, forestry mapping and planning, urban and transport planning, to the planning of national census. Satellite based maps are satellite imagery in a map sheet format - format which to most users in the natural one. Satellite scenes are merged digitally do cover the requested area, and subsectioned into map sheet units. The subsectioning system is determined by the customer's requirements and is normally adapted to the existing system and projection of the country. Three different types of base maps can be produced from SPOT satellite data:

- Satellite Image Maps;
- Satellite Orthophoto Map;
- Topographic Orthophoto Map.

Satellite Image Maps are derived from precision corrected imagery from SPOT. Image displacements might occur due to deviations between the ground altitude and the reference elevation as well as from the viewing angle of the satellite. Image displacements are minimized using vertical or near vertical images.

Satellite Orthophoto Maps are produced similarly as the Satellite Image Maps, but the terrain displacement errors have been eliminated. This elimination is done using a simplified digital terrain models derived from existing topographic maps.

Topographic Orthophoto Maps are produced from digital stereo pairs from SPOT. Digital Terrain models, DTMs, are computed through a Multi-point-matching technique. Contour lines are then generated from the DTMs for the final topographic map.

1. Comparação com as Técnicas Tradicionais

No decorrer das últimas quatro décadas a maior parte do mapeamento executado por todas as nações do mundo foi baseado em fotografias aéreas e produzidas através da utilização de técnicas fotogramétricas.

Diversos avanços tecnológicos diretamente ligados a fotogrametria foram surgindo e dentre eles destacamos os seguintes: aperfeiçoamento cada vez maior das câmeras aéreas, a alta resolução dos filmes aéreos, o advento de instrumentos analíticos permitindo a obtenção de dados digitais, o alto poder dos softwares computacionais para ajustamento de blocos e manipulação dos dados, o advento dos projetores ortofotos e de outros sistemas automatizados, etc.

A despeito do grande avanço tecnológico da área de fotogrametria, o relatório publicado pelas Nações Unidas em 1989, revelou que somente 33% do mundo havia sido mapeado na escala de 1:25.000, 56% na de 1:50.000, 58% na de 1:100.000 e 90% na de 1:250.000, quadro este que nos indica uma necessidade considerável de atualização da maioria das folhas de Cartas existentes.

A inexistência de mapeamento confiável dificulta o desenvolvimento das áreas rurais e o planejamento e o gerenciamento dos recursos naturais e poderá dificultar enormemente o poder de decisão dos governantes.

Para a realização de uma cobertura completa de um determinado país com novas Cartas em escalas adequadas, através da utilização de técnicas tradicionais, torna-se necessário o gasto de um longo período de tempo e de recursos financeiros consideráveis. Como exemplificação pode-se citar o caso da Etiópia que com uma área de 1.200.000 km² requer a produção de 1800 folhas de Carta na escala de 1:50.000 para cobrir totalmente o seu território. Atualmente 400 Cartas já foram editadas e apesar do aumento significativo da razão anual de produção, a complementação total do projeto deverá levar de 25 a 30 anos através da utilização da metodologia fotogramétrica.

A utilização de imagens orbitais para complementar ou mesmo substituir as fotografias aéreas poderá aumentar significativamente a razão de

produção de novos mapas e até mesmo possibilitar a atualização rápida e precisa de mapas obsoletos.

A partir do lançamento de uma série de veículos espaciais conduzindo câmeras com alta resolução e sensores orbitais dos quais destaca-se o HRV-SPOT para aplicações cartográficas, existe hoje grandes possibilidades para serem fechados rapidamente alguns vazios cartográficos existentes na cobertura do mapeamento mundial, a um custo relativamente baixo, quando comparado com a metodologia tradicional.

A introdução da tecnologia de mapeamento por satélite nos conduzirá para o reestudo das especificações de mapeamento e projetos de Cartas, e teve no fator tempo, o principal determinante para a utilização das referidas técnicas como base material para o inventário e planejamento de Recursos Naturais. O Banco Mundial, as Nações Unidas e a FAO vem utilizando as técnicas em apreço visando a resolução de seus problemas.

1.1. Dados Necessários Para o Mapeamento

Doyle (1987) definiu os três grupos principais de informações contidas nas cartas como sendo o conteúdo, a posição e a elevação. Para serem utilizados para fins de mapeamento, os dados oriundos de fotografias aéreas ou imagens orbitais deverão satisfazer requisitos bem definidos para cada um destes três parâmetros.

O conteúdo que é uma função da detectabilidade ou da resolução é definido nas fotografias em pares de linhas/mm ou em fotografias aéreas em termos de metros/pares de linhas. Em sensoriamento Remoto, a resolução é frequentemente definida em termos de metros/pixel. De acordo com Konecny (1989), 1.5 pixel contém a mesma informação que um par de linhas. A detecção e a diferenciação dos objetos é também dependente da cor e do modelo. De acordo com Konecny (1989), para ser identificável com segurança, o tamanho mínimo do pixel para identificação de construções urbanas e trilhas é de 2 metros, para estradas secundárias e rios, de 5 metros e para estradas maiores e grupos de construções, de 10 metros. A localização e o contraste da imagem terá também influência na detectabilidade e a título de exemplificação podemos citar o fato de que uma casa isolada pode ser identificada enquanto que uma casa de tamanho

similar a anterior não será identificada dentro de uma área de construção.

A posição ou precisão planimétrica define a confiança na posição relativa dos objetos plotados dentro de um sistema de referência geodésia. Os padrões internacionais aceitos para o mapeamento a média e pequena escala requerem que o desvio padrão na posição para 90% dos objetos bem definidos em uma folha de Carta se encontre entre mais ou menos 0,2 e 0,3 mm na escala da Carta. Para o mapeamento na escala de 1:50.000 o desvio padrão é equivalente a mais ou menos de 10 a 15 metros, em 1:100.000 de 20 a 30 metros, e em 1:250.000 de 50 a 75 metros.

As informações relativas à elevação em uma determinada folha de Carta são fornecidas a partir das curvas de nível e da altura dos pontos cotados e a precisão é expressa como um desvio padrão. O desvio padrão de uma curva de nível para determinado intervalo pode ser estimado como sendo mais ou menos $h/5$ metros. No caso de um intervalo de 20 metros, o valor do desvio será de cerca de 4 metros, e assim sucessivamente.

1.2. Comparação entre Câmeras Aéreas a Bordo de Satélites e Sistemas Sensores

As fotografias aéreas poderão satisfazer a todos os requisitos definidos em 1.1 desde que seja adotada uma escolha correta da escala do negativo.

Existem três sistemas principais a bordo de satélites de interesse para as aplicações cartográficas e dentre eles destacamos os Sensores MSS e TM do Satélite LANDSAT que vem sendo utilizados, principalmente para mapeamento temático, os sensores HRV-SPOT que é o primeiro sistema de Satélite comercial capaz de atender a todos os propósitos cartográficos e os sistemas de Câmeras Soviéticas KATE-200 e KFA-1000, cujos números 200 e 1000 são os indicadores da distância focal dos sistemas de lentes das referidas câmeras.

A tabela 01, confeccionada por um grupo de pesquisadores da Comissão IV e Intercomissão WG I/11 da Sociedade Internacional de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, ISPRS, sumariza uma coleção de comparações entre os sensores anteriormente referenciados.

A tabela em apreço apresenta separadamente os dados relativos a cada um dos sensores, no que tange aos parâmetros de posição, elevação e conteúdo, os quais posteriormente serão analisados

detalhadamente de forma a nos possibilitar concluir sobre que sensor deveremos utilizar no decorrer da confecção de produtos cartográficos. A escala do produto final, o nível dos detalhes que deverão fazer parte do produto e a necessidade de representação altimétrica do terreno nos conduzirá à escolha do melhor sensor para cada produto.

SENSOR	POSIÇÃO	
	s.e.	esc.
LANDSAT MSS	40	1:200.000
LANDSAT TM	20	1:100.000
SPOT PAN	3	1: 50.000
KATE 200	12	1:100.000
KFA 1000	4	1: 25.000

SENSOR	ELEVÇÃO		
	s.e.	v.i.m.	B/h
LANDSAT MSS	-	-	-
LANDSAT TM	25	125	0.24
SPOT PAN	5	25	1
KATE 200	35	175	0.36
KFA 1000	15	75	0.4

SENSOR	CONTEÚDO		
	px	l/mm	px.eq.
LANDSAT MSS	79	-	79
LANDSAT TM	30	-	30
SPOT PAN	10	-	10
KATE 200	-	30	31
KFA 1000	-	20	4

TABELA 1: ESTUDO COMPARATIVO

1.3. Tipos de Mapas

Tradicionalmente, o mapeamento a média e pequena escalas tem sido produzido através da impressão de Cartas de linha (Cartas topográficas, por exemplo).

A partir das possibilidades multidisciplinares oferecidas pelas fotocartas e ortofotocartas, tem aumentado consideravelmente o interesse para a produção de ortofotos e Cartas-imagem, as quais podem ser produzidas com maior rapidez e a custo muito menor do que o das Cartas de linha.

Através do estudo comparativo entre sensores abordados anteriormente chegamos a conclusão que: o Sensor SPOT, a KATE-200 e a KFA-1000 satisfazem a todos os requisitos para o mapeamento nas escalas de 1:50.000 e menores, com respeito a posição (a imagem da KFA-1000 satisfaz inclusive a escala de 1:25.000); somente a imagem SPOT satisfaz aos requisitos altimétricos para mapeamento a média escala; e, que nenhum dos sistemas satisfaz plenamente as especificações de detectabilidade para mapas topográficos à média escala, apesar do sistema KFA-1000 chegar perto.

Pelos dados da tabela podemos claramente concluir que, se o interesse do cliente é pela produção de mapas topográficos e se a cobertura fotogramétrica de área pode ser facilmente obtida sem qualquer tipo de restrição, as imagens orbitais jamais competirão com as fotografias aéreas devido, principalmente, ao baixo conteúdo de detalhes nas imagens. Enquadra-se particularmente nesta situação as cidades com grande desenvolvimento infraestrutural e com grande abundância de alvos individuais com áreas inferiores a 1 pixel.

No caso de determinadas cidades se a necessidade de mapeamento tornar-se urgente, inexistirem verbas suficientes para a realização do mapeamento tradicional e se houver a possibilidade de relaxamento das especificações técnicas de mapeamento quanto aos detalhes pontuais que seriam retratados nas Cartas, poderão ser utilizadas imagens de satélites que oferecerão vantagens reais.

As vantagens oferecidas pelas imagens orbitais tornam-se evidentes quando são produzidas ortofotos ou cartas-imagem. Este tipo de produto é o ideal para retratar a realidade e, principalmente, dão destaque especial a cobertura vegetal, ao modelo de uso da Terra, ao modelo da forma da Terra e mostram muitas feições que normalmente não são plotadas nas cartas fotográficas tais como pequenas clareiras nas florestas, diferentes modelos de copas de árvores, vestígio de deslocamento de rebanhos, etc.

Considerando-se a facilidade da interpretação, o número de detalhes relativos a legenda da carta serão inferiores aos das cartas topográficas. Como grande desvantagem na apresentação deste tipo de cartas é o aparecimento de defeitos que poderão ocorrer em função da existência de algum percentual de cobertura de nuvens ou da produção de sombras. Através da utilização de técnicas digitais torna-se possível eliminar estes defeitos através do registro e da mosaicagem de

imagens laterais ou até mesmo obtidas em épocas distintas. Objetos que normalmente não podem ser identificadas no escritório poderão frequentemente serem identificados no campo e, posteriormente selecionados e identificados em imagens adjacentes.

O fundo da imagem poderá ser realçado pela combinação do mesmo com *overlays*. Utilizando as imagens como base, torna-se possível a produção de *overlays* de estradas, drenagem, água, contorno e relavios à divisão administrativa, os quais poderão combinar as feições separadamente com a grade UTM e a base da imagem.

A ortofoto realçada e a carta-imagem requererão legendas mais detalhadas, as quais refletirão as necessidades de especificações do tipo de mapeamento. Os *overlays* podem também ser utilizados sem a imagem como fundo, visando a produção de cartas de linha.

1.4. Mapeamento

Nas mais modernas organizações de levantamento e mapeamento, os restituidores analíticos são ferramentas fotogramétricas comuns e são largamente utilizados para a realização das fases de aerotriangulação e restituição digital na realização de mapeamento a partir do uso de fotografias aéreas. Como o processamento de imagens envolve grandes investimentos em *hardware* e *software*, foram desenvolvidas rotinas e *softwares* para utilização de imagens SPOT nos instrumentos analíticos disponíveis. Atualmente, encontram-se disponíveis na Wild, Kern, Zeiss Oberkochen e Intergraph Softwares de vários níveis de sofisticação capazes de possibilitarem a restituição de imagens SPOT. Estes *softwares*, tais como, o programa BINGO da Zeiss Oberkochen, são uma versão do programa de ajustamento de bloco modificado para corrigir a perspectiva cilíndrica da imagem SPOT, com sua coleção de 6000 arranjos lineares de detectores, onde cada um deles se comporta como uma projeção central, do mesmo modo que a projeção central simples da fotografia aérea. A realização do mapeamento a partir de imagens espaciais através da utilização destes instrumentos torna-se similar ao mapeamento a partir de fotografias aéreas. A diferença diz respeito a escala de imagem que é muito menor que o da fotografia aérea.

Na Suécia, a despeito da grande tradição na linha de mapeamento clássico, as vantagens do processamento digital foram identificadas no desenvolvimento de uma produção completamente digital, altamente automatizada, iniciada a partir da linha de fluxo de recebimento na estação receptora e terminada com a produção de filmes necessários para a impressão de chapas. O desenvolvimento do sistema de mapeamento digital assinala um passo significativo para o futuro.

1.4.1. Aquisição da Imagem

O planejamento e a implantação de mapeamento a partir de fotografias aéreas, particularmente em áreas de difícil acesso poderá ser difícil e custoso. A logística de manutenção de tripulação e aeronaves normalmente é problemática e custosa. A obtenção da fotografia aérea é normalmente restrita para um período bem definido do ano e a mobilização dos custos frequentemente impedem um retorno para a mesma área. Uma campanha com resultados desastrosos pode atrasar seriamente o programa de mapeamento. Por outro lado, a fotografia aérea é muito flexível com respeito a escolha da escala, planejamento do corte e manipulação dos negativos, diapositivos e impressão dos contatos. Este material pode também ser escaneado, e não está muito distante a futura produção de câmeras digitais. Os dados de satélites com a finalidade para a utilização em mapeamento topográfico é normalmente fornecido na forma de fitas digitais CCT ou em diafilmes no nível 1A. Os autores que descrevem a utilização de restituidores analíticos no mapeamento tem frequentemente comentado sobre a má qualidade dos diapositivos produzidos em filme. Os melhores resultados serão obtidos usando dados brutos como entrada, evitando assim qualquer tipo de degradação no decorrer do tratamento. O sistema de processamento digital da SSC SATELLITBILD utiliza dados brutos como entrada, evitando assim qualquer tipo de degradação.

No planejamento para a execução de um projeto de mapeamento através da utilização de dados SPOT o primeiro fator a ser considerado é o tempo necessário para a obtenção das imagens de áreas que não estejam diretamente ligadas a uma estação de recebimento de dados na Terra e onde os dados possam ser gravados no gravador de fitas a bordo do Satélite SPOT 1.

Os custos de mobilização para a obtenção de fotografias aéreas em áreas que ainda não foram

mapeadas por serem de difícil acesso são normalmente altos.

1.4.2. Controle de Terra

Os pontos de controle de terreno (GCP) são necessários tanto para o mapeamento por satélite quanto para o mapeamento clássico. Existem duas diferenças clássicas entre trabalhar com fotografias e com imagens, são elas: a escala de impressão onde os pontos serão identificados e os métodos de produção das cartas, os quais influenciarão no número e distribuição dos pontos de controle da Terra. Devido a riqueza de detalhes das fotografias aéreas, na maior parte das vezes, os pontos de controle são facilmente e confiavelmente identificáveis. A dificuldade na localização dos mesmos torna-se problemática quando trabalhamos com imagens de satélites em restituidores analíticos porque a localização e distribuição dos pontos é mais crítica do que quando utilizamos métodos digitais. A identificação dos pontos de controle de campo pode ser feita usando imagens em papel no nível 1A.

O mapeamento utilizando restituidores analíticos requererão um maior número de pontos de controle que quando trabalhamos com sistemas digitais. Normalmente, são necessários de 6 a 7 pontos por modelo quando trabalhamos com restituidores analíticos. Diversos testes realizados na Suécia e Canadá tem mostrado que bons resultados dentro das especificações podem ser obtidos com metade deste número de pontos de controle por modelo quando utilizamos métodos digitais (5 a 6 metros em X e Y e 5 a 10 metros em Z). Quando a triangulação por faixa é realizada, o número de pontos de controle pode ser ainda mais reduzido. Isto acontece devido ao fato de que a geometria do SPOT é estável e predita.

A título de ilustração, uma área de 3600 km² que deve ser mapeada em 1:50.000 é coberta normalmente por 68 modelos numa escala fotográfica de 1:60.000. Através da utilização de softwares modernos, tais como o PAT-M e com controle do perímetro, torna-se necessária a utilização de 20 pontos de controle para a realização do ajustamento do bloco, além do fornecimento ao bloco, de um adequado controle de altura. A mesma área poderá ser mapeada através da utilização de duas cenas SPOT usando-se no máximo a terça parte do número de pontos de controle.

A obtenção de curvas de nível pode ser difícil em determinadas imagens onde ainda, por razão desconhecidas, é difícil a colocação da marca flutuante sobre o terreno. Os detalhes planimétricos são plotados ou por interpretação manual sobre o modelo através do deslocamento da imagem de satélite ou por plotagem através da utilização de software do instrumento analítico.

Sistema Digital

O primeiro estágio do processo de mapeamento no sistema digital é a entrada dos dados brutos com precisão. Os mesmos são armazenados desta maneira de forma a favorecer o processamento sem qualquer perda de precisão e conteúdo do dado original.

Para o segundo estágio, os pontos de controle de terreno são identificados em uma tela gráfica e suas coordenadas incluídas. Estes dados são usados para calcular a atualização dos dados de efemérides do satélite e corrigir os parâmetros de attitude.

Para o estágio seguinte de produção de imagens é selecionada uma projeção para a confecção do mapa que é obtida através da utilização de parâmetros geodésicos. Se existe a possibilidade da introdução de um modelo digital de elevação, o mesmo é introduzido neste estágio para a produção da ortofoto. Se os deslocamentos do terreno não são corrigidos, a imagem é projetada dentro de um elipsóide selecionado e, neste caso, as paralaxes de imagem permanecerão.

Modelo Digital de Elevação e Curvas de Nível

No sistema usado na SSC SATELLITBILD a geração do modelo digital de elevação é completamente automática através do desenvolvimento na SSC de métodos de união de multipontos (correlação automática) através da utilização de pares estereoscópicos, sendo a imagem corrigida e projetada. Considerando-se o fato de que o estabelecimento do controle de terreno é o maior pilar em qualquer orçamento de mapeamento, a redução na quantidade de pontos de controle resultarão em economia significativa.

1.4.3. Densificação do Controle

Em fotogrametria clássica, a densificação dos pontos de controle é normalmente feita por faixas e blocos de tirangulação. Através da utilização de modernos restituidores analíticos o custo torna-se alto e a tarefa

lenta. Com boa qualidade dos diapositivos e facilidades com o poder dos computadores, o tempo requerido para um modelo é o da ordem de 30 a 35 minutos, sem incluir o trabalho preparatório de perfuração dos diafilmes, etc.

Para o mapeamento com imagens de satélites em restituidores analíticos os pontos de controle são pagueados e marcados nos diapositivos. Deve-se considerar neste aspecto que, a precisão na transferência do ponto vem sendo considerada como um grande problema. Utilizando métodos digitais o trabalho preparatório é mínimo podendo os pontos de controle serem marcados com precisão de um sub-pixel na imagem utilizando uma tela gráfica. Ainda através da utilização dos dados digitais, as Imagens SPOT na mesma órbita podem também ser processadas como uma faixa. Esta técnica é capaz de favorecer consideravelmente o decréscimo do número de pontos de controle por cena, num fator de aproximadamente três por cada cena.

1.4.4. Restituição da Imagem

Existe uma grande semelhança entre o mapeamento com fotografias aéreas e com imagens de satélites quando utilizamos restituidores analíticos. Utilizando sistemas digitais aparecerão diferenças radicais entre os dois tipos de mapeamento.

- Restituidores Analíticos - O mapeamento planimétrico e as curvas de nível são geradas a partir de dispositivos em filme na escala de 1:400.000. Diversos relatórios indicam que os operadores inicialmente tiveram problemas no trabalho com imagens SPOT devido a pequena escala e a utilização de diafilmes com diferentes ângulos de tomada de vista e do modelo de pixel quando trabalhamos com ampliação. A geração de curvas de nível pode ser difícil em determinadas imagens onde, por razão ainda inexplicadas, torna-se difícil a colocação da marca flutuante sobre o terreno.

Os detalhes planimétricos são plotados por interpretação manual em *overlay* colocado sobre a imagem de satélite ou pela plotagem utilizando *software* do instrumento.

- Sistema Digital - O primeiro estágio do processo de mapeamento no sistema digital e a entrada dos dados brutos dentro da melhor precisão possível. Os mesmos são armazenados no nível 1A de maneira a

favorecer os processamentos posteriores sem qualquer perda de precisão e conteúdo do dado original.

Para o segundo estágio, os pontos de controle são identificados em uma tela gráfica e suas coordenadas incluídas no sistema. Estes dados são então usadas para calcular a atualização das efemérides do satélite e dos parâmetros de atitude.

Para o estágio seguinte é selecionada uma projeção através da utilização de parâmetros geodésicos. Se existe a possibilidade de introdução de um modelo digital de elevação, o mesmo é introduzido neste estágio para produzir uma ortofoto. Se os deslocamentos do terreno não são corrigidos a imagem é projetada dentro do elipsoide escolhido, mas permanecerão as paralaxes.

-Modelo Digital de Elevação e Curvas de Nível - No sistema usado pela SSC SATELLITBILD a geração de modelos digitais de elevação é realizado automaticamente através da utilização do método de correlação automática, desenvolvido na SSC. O referido método utiliza pares estereoscópicos sendo a imagem corrigida com precisão e projetada no elipsoide selecionado pelo cliente. A medição da paralaxe é digital e completamente automática. Enquanto um operador necessita medir diversos pontos no decorrer da medição da altura num restituidor analítico, no sistema de correlação automática é utilizado um modelo matemático de superfície muito bem definido. Este fato melhora consideravelmente a precisão. O cálculo é baseado no método dos mínimos quadrados. Para a manutenção da consistência interna, poderão ser gerados modelos digitais de elevação adicionais. A vantagem deste método é que nuvens isoladas podem ser eliminadas sem afetar a precisão total do método.

- Detalhes Planimétricos Plotados - A plotagem planimétrica de temas através de *overlays* poderá ser realizada através da utilização de restituidores analíticos, interpretação manual ou utilizando métodos de classificação automática. A interpretação manual é feita pelos fotointérpretes na imagem ampliada. Os detalhes relativos a cada tema são interpretados separadamente e desenhados em plásticos transparentes registrados sobre a imagem. Os temas típicos são: estradas, rios, feições d'água, linhas de alta tensão, oleodutos e áreas de construção. O *overlay* de contorno é produzido automaticamente a partir do modelo digital do terreno. A melhor resolução das fotografias aéreas faz com que a identificação dos objetos seja mais precisa do que com imagens de satélites, embora uma grande parte

das feições prioritárias possam ser identificadas com confiança nas imagens de satélites.

Os temas manuscritos podem também ser obtidos através da utilização de desenho convencional, métodos de gravação ou através da utilização de tratamento automático via *scanner*. Na linha de produção desenvolvida pela SSC SATELLITBILD e SWEDSURVEY o padrão é escanear os manuscritos através da utilização de um *scanner raster* que tem *software* voltado para aplicações cartográficas. Neste sistema poderão ser selecionados tipos de linhas e espessuras, ser criados modelos e símbolos, e ser incrementadas classificações de estradas através da utilização de cores e colocação dos nomes nas posições desejadas. Os *overlays* finais são então reproduzidos em filme usando um *plotter raster*.

- Anotações de Campo - Em virtude da pior detectabilidade das imagens SPOT, o volume de anotações de campo requeridas antes da realização do estágio de compilação final dos dados é significativamente grande quando comparados com os dados de plotagens produzidos a partir de fotografias aéreas.

Alguns problemas poderão surgir no que se refere a identificação de feições pontuais em imagens de satélites, tais como: pequenos caminhos, córregos, linhas de força secundárias, etc. Feições lineares como estradas principais, rios, linhas de força, canais e maiores instalações poderão ser confiantemente detectáveis. Em alguns casos, estradas menores poderão ser de difícil identificação, particularmente onde elas se confundem com outras feições de linha. Em outros, devido ao forte contraste, picadas podem ser mal identificadas e confundidas com estradas. No gabinete, a identificação pode ser melhorada também usando imagens multiespectrais ou fundindo imagens pancromáticas e multiespectrais num sistema de processamento de imagens.

Deve-se considerar neste aspecto que os custos para a realização de anotação de campo com dados orbitais são significativamente mais altos do que os necessários para os trabalhos com fotografias aéreas.

- Produção Final do Mapa - Através da utilização de informações digitais, os originais impressos, incluindo as ortofotos, são produzidos diretamente com a utilização de um *plotter raster*.

Se somente necessitamos da produção de cópias fotográficas, a imagem pode ser reproduzida na

precisão do filme e os *overlays* cartográficos reproduzidos separadamente e, posteriormente registrados sobre a imagem básica.

- Comparação dos Custos de Produção para Mapas de Linha quando utilizamos Imagens SPOT e Fotografias Aéreas - Na literatura existe um consenso geral de opinião de que os mapas de linha nas escalas de 1:50.000 e menores podem ser confeccionados mais rapidamente e com menos custo quando utilizamos dados SPOT no lugar de fotografias aéreas.

O quadro abaixo nos apresenta uma série de dados que nos permitirão fazer um estudo comparativo sobre rapidez e custos, em função das diferentes fases do mapeamento e dos tipos de sensores empregados. A vantagem de um sensor sobre o outro poderá variar entre 50 e 500 %, dependendo da fase analisada. A escala do mapeamento que serviu de base para a confecção da referida tabela foi a de 1:100.000, em área rural e o mesmo foi obtido através da utilização de imagens digitais SPOT. A comparação é feita com o mapeamento existente obtido a partir de fotografias aéreas, na mesma escala de 1:100.000.

É muito difícil comparar os dois produtos com clareza em virtude das diferenças significativas entre ambos, particularmente no que diz respeito ao conteúdo dos detalhes de um e de outro.

De qualquer forma é claro que para o usuário é melhor manusear um produto atualizado obtido a partir de imagens orbitais apresentando um menor número de detalhes do que outro desatualizado, e obtido a partir de mapeamento clássico.

FASES DA PRODUÇÃO	ESTUDO COMPARATIVO (%)			
	50	100	100-500	500
Aquisição dos dados (*)	!	+	!	!
Controle de Terreno	!	+	!	!
Densificação	!	!	!	+
Curvas de Nível	!	!	+	!
Plotagem/Interpretação	!	!	+	!
Anotações de Campo	!	!	-	!
Desenho/Escaneamento	+	!	!	!
Originais Impressos	+	!	!	!

obs.: + SPOT mais rápido - SPOT mais lento * Comparação de custos

TABELA 02 : ESTUDO COMPARATIVO EM FUNÇÃO DAS FASES DO MAPEAMENTO (RAPIDEZ E CUSTOS)

Comentários

Uma comparação nos custos de aquisição dos dados é muito difícil de se fazer devido a incerteza de muitos dos parâmetros a serem considerados. Enquanto que para as fotografias aéreas os custos de mobilização, a logística de campo e a variação sazonal do tempo são fatores importantíssimos, para as imagens de satélites a recepção on-line ou off-line é o fator de maior peso. Com a tecnologia SPOT, a recepção e o processamento fazem parte de um processo integrado. Apesar da dificuldade de comparação, de maneira geral, a aquisição dos dados é cerca de 100% mais rápida e mais barata.

No que se refere ao emprego de pontos de controle, normalmente torna-se necessário a utilização de 7 pontos de controle por cena SPOT. Este número pode ser diminuído se utilizarmos métodos digitais. Para os métodos clássicos, são necessários um número bem maior de pontos de controle.

Os custos para densificação são minimizados se usamos um *software* moderno para a triangulação dos blocos. Nenhuma densificação é necessária se usamos técnicas SPOT e portanto torna-se 500% mais rápido.

Para a geração de curvas de nível através da utilização de métodos de correlação automática a partir de imagens SPOT, a economia e a rapidez variará entre 100 e 500 % quando comparados com a obtenção de curvas de nível através da utilização de um restituidor analítico.

A Plotagem através da utilização de instrumentos fotogramétricos, interpretação visual e geração de *overlays* positivos em imagens ortofoto também torna-se mais econômico e mais rápido através da utilização de imagens SPOT.

O custo dos desenhos variarão dependendo dos métodos utilizados. Para os dados obtidos por fotogrametria digital e plotados automaticamente, ou por mapeamento analógico a partir da geração em *scribe*, ou por escaneamento de *overlays* extraídos de imagens SPOT a partir de interpretação visual, existirão custos e prazos bem distintos.

A maior incerteza é para os custos das anotações de campo que variam dependendo da infraestrutura da área, tipo do terreno e cobertura vegetal. Normalmente o trabalho é muito mais lento

quando utilizamos imagens orbitais e, consequentemente mais caro.

De qualquer forma tanto a carta-imagem quanto a ortofoto confeccionadas a partir de fotografias aéreas ou imagens orbitais, são produtos mais baratos do que os equivalentes mapas de linha.

2. Mapeamento Topográfico SPOT

2.1. Produção do Mapa

Para avaliar as possibilidades de mapeamento com dados SPOT no ambiente Africano na escala de 1:50.000 foram produzidas folhas de cartas na área de Asela, na Etiópia.

As ortofotos foram produzidas pela SSC usando imagens pancromáticas estereoscópicas do SPOT, com pixel de 10 metros, tomadas em 08/11/86 e 13/11/86. Os ângulos de observação foram de 23° e 18,8° os quais proporcionaram uma relação base/altura de 0,87, apropriada para a geração de curvas de nível com precisão. Para facilitar a interpretação das imagens, foi também utilizada uma imagem multiespectral SPOT tomada em 29/10/86. A interpretação da imagem foi realizada em conjunto entre a SWEDSURVEY e a SSC SATELLITBILD e o trabalho cartográfico pela SWEDSURVEY. Foi realizado também um teste com imagem SPOT visando a atualização cartográfica. Para tal foi utilizada a mesma folha e os dados de campo coletados pela SWEDSURVEY.

O mapeamento foi executado dentro das seguintes etapas:

- Programação visando a obtenção de cenas que cobrem a área a ser mapeada. Considerando-se as boas condições de tempo e a possibilidade de obtenção de dados on-line por uma estação de recepção da Terra, um pedido poderá ser executado em três meses. Na África existe uma carência de estações de recepção e este fato, combinado com o limitado espaço disponível no gravador de fitas que é utilizado para o armazenamento de imagens, poderá causar atrasos. Em toda operação de mapeamento, o planejamento a longo prazo é o requisito principal. Foram obtidas imagens com pouca quantidade de nuvens.

- Terminada a fase de aquisição as imagens foram filtradas, realçadas e corrigidas com precisão. A precisão da correção foi obtida através da utilização de pontos de controle que foram extraídos das folhas de carta disponíveis.

- O cálculo de modelos digitais de elevação possibilitaram a geração de curvas de nível com

intervalo vertical de 20 metros e foram utilizados para a produção das ortofotos. Os modelos digitais de elevação foram produzidos usando técnicas digitais avançadas de correlação automática que foram desenvolvidas na Suécia. Com a utilização do *software* e de um *plotter* analítico foi possível produzir modelos digitais de terreno e curvas de nível.

- Outros trabalhos de processamento de imagens tais como a mosaicagem das ortofotos e a composição digital de imagens também foram realizados. Através da utilização desta tecnologia foi possível mosaicar áreas da parte oeste, eliminando a cobertura de nuvens existentes. Foram registradas imagens multiespectrais com imagens pancromáticas.

- Foram realizadas interpretações visuais das imagens visando a produção de *overlays* relativos a rede viária, hidrografia, áreas construídas, classificação de vegetação, etc. As interpretações em apreço não diferem daquelas realizadas a partir de fotografias aéreas. A verdade terrestre foi obtida a partir da realização de visitas ao campo.

- Através da utilização de um *scanner raster* e de um *ploter* foram produzidos os originais necessários para a confecção das ortofotos e os relativos aos *overlays* de separação de feições. Os referidos originais poderiam ter sido confeccionados através da utilização de métodos clássicos.

2.1.1 Análise dos Resultados

A análise dos resultados obtidos na Etiópia sugerem a utilização de imagens orbitais em outros projetos de mapeamento, com as seguintes observações:

- O uso de imagens de satélites para a realização de mapeamento nos países do terceiro mundo é um caminho economicamente viável visando a aceleração do mapeamento a média e pequena escala. Através do uso de pacotes de *software*, o mapeamento com imagens orbitais poderá ser produzido em países em desenvolvimento, sem que sejam necessários maiores investimentos em *hardware*. Onde tais investimentos já foram realizados, o equipamento poderá ser utilizado também para o mapeamento a partir de fotografias aéreas usando o método clássico;

- Os requisitos de precisão planimétricas podem ser facilmente obtidos;

- Os requisitos de precisão das curvas de nível dependem muito da relação entre a base e a altura. Nesse particular poderão ocorrer certos problemas no que tange às especificações internacionais de precisão;

- O conteúdo de detalhes das imagens de satélites não satisfazem integralmente aos padrões exigidos para o mapeamento em 1:50.000;

- A maior parte das feições lineares podem ser identificáveis. As estradas são facilmente identificáveis enquanto que trilhas de gado poderão ser confundidas com estradas de terra menores devido as grandes diferenças no contraste. Linhas de forças em áreas abertas poderão deixar de ser identificadas;

- Os modelos de propriedades rurais poderão ser identificados, mas o uso da terra, particularmente no que se refere a pequenos lotes torna-se de difícil identificação;

- As áreas de florestas podem ser claramente delineadas;

- Vilarejos e instalações poderão ser confiantemente delineados. Construções individuais, cabanas e pequenas construções dificilmente serão identificadas;

- O modelo geral de hidrografia foi claramente visível nas ortofotos e as áreas de pantano podem ser facilmente extraídas;

- O custo para o controle do terreno é muito maior que no mapeamento clássico, mesmo quando é utilizado *software* para o ajustamento das fotografias aéreas;

- O controle do terreno pode ser extraído de mapas disponíveis com pouco ou nenhum efeito na precisão interna do mapa.

- A economia resultante do menor número de pontos de controle do terreno será muito menor do que os gastos adicionais para a complementação de campo, quando mapeamos com imagens de satélites;

- Um novo tipo de legenda deve ser desenvolvido para cartas-imagem e cartas de linhas quando confeccionadas a partir de imagens orbitais;

- As imagens de satélite e a fotografias aéreas podem ser consideradas como ferramentas complementares;

- As cartas confeccionadas a partir de imagens de satélites são geralmente inadequadas para mapeamento topográfico para escalas maiores que 1:50.000.

2.2. Atualização de Cartas

Em complemento ao mapeamento realizado e descrito anteriormente foi executado um teste visando avaliar a possibilidade de atualização cartográfica na Etiópia em 1:50.000 usando imagens SPOT. Normalmente, a atualização é baseada em trabalhos de foto-interpretação através da utilização de novas fotografias aéreas da área. Em alguns casos, devido ao alto índice de desatualização, um novo mapeamento poderá ser requerido.

2.2.1. Imagens Utilizadas

Foram utilizadas imagens do nível 1A. Para o teste de atualização foi empregado o mesmo par estereoscópico SPOT usado para o novo mapeamento. A escala do negativo foi 1:400.000 e o formato do filme 240 x 240mm. Com um pequeno custo adicional é possível a utilização de imagens do nível 2B para atualização de cartas.

Em complemento ao material em filme foram feitas ampliações em papel para a escala de 1:50.000.

2.2.2. Metodologia

A interpretação foi realizada usando métodos visuais com equipamento ótico simples. Apesar da geometria interna da imagem SPOT ser estável e predita, a interpretação foi feita em áreas de 1 x 1 km porque é possível a realização de melhor ajustamento com os detalhes da carta.

Sobre a cópia da imagem em papel foram criados *overlays* que possibilitaram o aparecimento de novos detalhes em filme. A possibilidade de obtenção de visão tridimensional aumenta significativamente a confiança na interpretação.

Foi feita uma visita a área para posterior complemento de interpretação na Suécia. Normalmente a verdade do terreno é avaliada antes e durante o programa de atualização.

2.2.3 Resultados Alcançados

Os resultados confirmaram aqueles obtidos por ocasião do mapeamento e todas as observações descritas em 2.1.1. deverão ser consideradas no caso de interesse na realização de um projeto de atualização de cartas.

Referências Bibliográficas:

Doyle, F.J.: High-resolution image data from the Space Shuttle, Metric Camera Workshop Oberpfaffenhofen 1985, ESA SP-209.

Konecny, G.: Evaluation of SPOT imagery on analytical photogrammetric instruments, seminar on Photogrammetric Mapping from SPOT imagery, Hannover, 1987.

Kihlblom, U.G. and Rosenholm, D. G.: Production of topographical SPOT Stereo Images, Sweden, 1988.

Konecny, G.: Rev. Recente Tec. Map. por satélite; 4ª Conf. Reg. ONU, EUA, 1989.