

# **ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA POR IMAGENS DE SATÉLITE**

**- Considerações Teóricas e Possibilidades de Implementação -**

Júlio C. L. d'Alge

Engenheiro Cartógrafo

Divisão de Processamento de Imagens - DPI

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

julio@dpi.inpe.br

## **1. Introdução**

A utilização eficiente de cartas topográficas em atividades de planejamento e em apoio à confecção de mapas temáticos pressupõe que o conteúdo das cartas seja uma representação atualizada da superfície terrestre.

A introdução dos satélites de sensoriamento remoto e a conseqüente disponibilidade de imagens com boa resolução espacial a custos bem mais atraentes que os de produtos fotogramétricos tradicionais motivou a discussão sobre as possibilidades de uso das imagens para a detecção de mudanças e para a revisão dos aspectos planimétricos das cartas topográficas.

Com a oportuna incorporação de técnicas de processamento de imagens à Sistemas de Informações Geográficas (SIG) visando a solução dos mais diversos problemas ligados ao meio físico terrestre, o tratamento digital de imagens passou a representar uma opção viável ao uso convencional de técnicas de fotointerpretação sobre imagens em papel. Na verdade, um SIG oferece ferramentas extremamente ágeis para a confecção de vários tipos de mapas. Isto serve para rediscutir tanto o papel dos órgãos responsáveis pelo mapeamento quanto a possibilidade do usuário de um SIG exercer o papel de cartógrafo.

Este trabalho apresenta argumentos sobre a possibilidade de atualização de cartas usando imagens de satélites de sensoriamento remoto (TM-Landsat ou HRV-Spot). Na primeira parte estabelecem-se critérios e parâmetros que devem servir de base à discussão teórica sobre o assunto. Faz-se então uma retrospectiva sucinta da experiência do INPE com correção geométrica de imagens orbitais e com investigações a respeito da qualidade geométrica resultante e da conseqüente possibilidade de uso das imagens em atualização. Por último discute-se, mais uma vez, a oportunidade de se

implementar procedimento semelhante em um programa nacional de atualização de cartas a ser executado pelos órgãos responsáveis pelo mapeamento do território nacional.

## **2. Pré-requisitos para atualização através de imagens**

Identificadas e justificadas as necessidades de atualização, o procedimento para o uso de imagens compreende basicamente duas etapas: correção geométrica ou geo-referenciamento e extração de feições.

A correção geométrica ou geo-referenciamento deve modelar os erros inerentes ao processo de aquisição das imagens e vinculá-las ao sistema de projeção cartográfica de interesse. Uma vez vinculadas ao sistema de referência da carta a ser atualizada, as imagens devem ser interpretadas para que sejam extraídas as feições a serem representadas na carta. Esta etapa deve identificar as feições novas, que devem ser acrescentadas à carta, e as feições que, por já não existirem mais, devem ser removidas da carta.

Este trabalho centra a discussão na etapa de correção geométrica ou geo-referenciamento por considerá-la de vital importância para o sucesso de uma atualização a partir de imagens de satélite. Sabe-se que boa parte das feições que devem ser representadas em cartas topográficas em escala 1:100000 ou menor podem ser extraídas de imagens TM-Landsat ou HRV-Spot, mas sabe-se também que há restrições. Sugere-se, por exemplo, a leitura de “Avaliação de produtos de sensoriamento remoto para fins de atualização cartográfica”, tese de mestrado desenvolvida no INPE (Vergara, 1994), para informações mais detalhadas sobre as possibilidades e limitações na extração de feições cartográficas a partir de imagens, notadamente uso do solo, rede viária e hidrografia.

A correção geométrica de imagens pode ser realizada através de um modelo físico, que reflita a modelagem das distorções inerentes à formação da imagem, por meio de pontos de controle, medidos no sistema de coordenadas da imagem e no sistema de referência para o georeferenciamento, ou por uma combinação de ambos.

O modelo meramente físico depende do conhecimento dos dados de efemérides e de atitude do satélite e dos parâmetros do sistema de imageamento, que são normalmente transmitidos junto com os dados de imagem. O modelo fotogramétrico, assim chamado devido a semelhanças com o modelo de equações de colinearidade usado em fototriangulação, tem sido utilizado pelo INPE na geração de imagens TM-Landsat e HRV-Spot com correção geométrica de sistema. Num determinado instante, recupera-se dos dados de efemérides a posição do satélite. Com base nos dados de atitude e nos parâmetros do sistema de imageamento, define-se a direção de visada para aquele instante. A posição e a direção de visada definem uma reta que intercepta o elipsóide de referência. Ficam então definidas as coordenadas geodésicas correspondentes ao pixel adquirido naquele instante.

A correção geométrica por pontos de controle assume a possibilidade de se medirem as coordenadas geodésicas de determinadas feições características das imagens, como cruzamentos de estradas e confluências de rios. Estas feições bem definidas são chamadas de pontos de controle. Este modelo de correção geométrica normalmente utiliza funções polinomiais no espaço bidimensional para relacionar coordenadas de imagem às coordenadas planas de um certo sistema de projeção cartográfica. As coordenadas geodésicas ou mesmo as coordenadas de projeção dos pontos de controle podem ser medidas diretamente no campo, com GPS, por exemplo, ou extraídas de cartas topográficas em escala apropriada.

O método fotogramétrico depende da acurácia com que são conhecidos os dados de efemérides e atitude e os parâmetros do sistema de imageamento. O modelo de correção por pontos de controle requer a existência de um conjunto de bons pontos de controle bem distribuídos ao longo da cena. Além disso, assume que as funções polinomiais tipicamente usadas modelam com eficiência os erros inerentes ao processo de aquisição das imagens. A combinação criteriosa dos dois modelos apresenta-se como a melhor solução para a questão do geo-referenciamento, pois permite a aplicação inicial de um modelo físico seguida de um refinamento por pontos de controle. Trata-se da melhor opção quando se requer um alto nível de geo-referenciamento, como no caso da atualização de cartas topográficas.

### **3. A experiência do INPE com correção geométrica de imagens**

O início de um contato mais próximo com técnicas de correção geométrica de imagens remonta à 1986, quando a Divisão de Geração de Imagens do INPE desenvolveu os algoritmos necessários e inseriu em sua linha de produção a geração de imagens TM-Landsat, em formato digital, com correção geométrica de sistema feita pelo método dito fotogramétrico. Antes, as correções eram realizadas apenas no momento da geração do produto analógico correspondente em filme.

Remontam a essa época, também, os primeiros esforços de avaliação sistemática da qualidade geométrica das imagens resultantes da correção geométrica de sistema. Com a pretensão inicial de referendar um procedimento recém-implementado na linha de produção, o processo de avaliação logo se revelou uma ferramenta indispensável no sentido de propiciar a informação mínima necessária para estabelecer critérios de

utilização das imagens de forma integrada a documentos cartográficos já existentes.

A questão básica dos especialistas em sensoriamento remoto era sobre a acurácia com que as informações extraídas das imagens, manualmente ou automaticamente, podiam ser incorporadas às cartas topográficas que classicamente servem de base ao mapeamento temático. Ora, trata-se da mesma questão, pelo menos do ponto de vista geométrico, pertinente à atualização da planimetria de uma carta topográfica. Deseja-se saber, com base num certo procedimento de correção geométrica, quais escalas são compatíveis para a atualização de cartas a partir de imagens.

Como já foi mencionado anteriormente, o INPE usa o modelo fotogramétrico para a geração de imagens com correção de sistema. Isto se aplica tanto às imagens TM-Landsat como às HRV-Spot. A correção geométrica de sistema é assim designada por utilizar basicamente os dados de sistema, ou seja, os dados auxiliares que são transmitidos pelo satélite junto com os dados de imagem. Estes dados auxiliares referem-se à órbita do satélite (posição e velocidade), à atitude do satélite (ângulos de rolamento, arfagem e guinada) e aos parâmetros do sistema de imageamento. De forma sucinta, considerando-se um determinado instante  $\tau$  de aquisição de um certo pixel e um sistema geocêntrico cartesiano (terrestre médio), o método se resume às seguintes etapas: (a) definição da posição do satélite para o instante  $\tau$ ; (b) definição da direção de visada para o instante  $\tau$ ; (c) formulação da equação da reta que passa pela posição do satélite e tem a direção de visada anteriormente determinada; (d) formulação da equação do elipsóide de referência adotado; (e) interseção da reta com o elipsóide; (f) transformação das coordenadas terrestres médias (X, Y, Z) em coordenadas geodésicas ( $\phi$ ,  $\lambda$ ). Fica assim estabelecida uma relação entre coordenadas de imagem (linha, coluna) e coordenadas

geodésicas. A transformação para qualquer sistema de projeção cartográfica segue-se, então, de forma óbvia.

As seis etapas descritas acima representam o que se convencionou chamar de mapeamento direto da correção geométrica, no qual se define a região do espaço geográfico a ser ocupada pela imagem de saída ou imagem corrigida. Com base nas dimensões desta região e da resolução espacial escolhida, calculam-se o número de linhas e o de colunas da imagem de saída. O próximo passo, chamado de mapeamento inverso, determina qual pixel, na imagem original, corresponde a um certo pixel na imagem de saída. Esta transformação inversa raramente gera um valor inteiro, em termos de coordenadas, na imagem original. Por isso faz-se necessária uma última etapa de interpolação ou reamostragem para que se definam os níveis de cinza da imagem de saída.

Devido ao alto refinamento do controle de atitude do Landsat 5 e dos satélites da série Spot e ao conhecimento acurado dos parâmetros do sistema de imageamento, o método fotogramétrico tende a gerar imagens corrigidas que resolvem muito bem a questão do posicionamento relativo dos pixels da imagem, mas que estão sujeitas às imprecisões dos dados de posição dos satélites. Em tese, uma imagem com correção de sistema feita pelo método fotogramétrico deve apresentar um erro interno (posicionamento relativo) muito baixo e um erro de posicionamento proporcional aos erros de posição na órbita do satélite. As imagens que pertencem a este grupo correspondem aos níveis 5 e 6 do TM-Landsat ou ao nível 2A do HRV-Spot. As imagens TM nível 4 ou HRV nível 1A são imagens sem correção geométrica; apresentam apenas uma reamostragem ao longo das linhas para compensar o efeito de rotação da Terra. A imagem HRV nível 1B apresenta uma correção geométrica de sistema apenas aproximada.

As avaliações de qualidade geométrica das imagens com correção de sistema servem para testar a hipótese apresentada no parágrafo anterior sobre os erros interno e de posicionamento. Alguns critérios importantes devem ser observados neste processo de avaliação. Uma transformação de similaridade (duas translações, uma rotação e um fator de escala) deve relacionar as coordenadas de pontos de controle criteriosamente medidas na imagem e em cartas topográficas em escala apropriada. Uma transformação geométrica mais simples subestimar os erros; uma transformação mais complexa tenderá a modelar alguns erros, introduzindo correlações que não se justificam. Outra preocupação diz respeito à escala das cartas a serem usadas para a medição de coordenadas de pontos de controle. Essa escala deve ser sempre maior que a que se tem em mente para a utilização da imagem. Caso isso não seja viável os pontos devem ser medidos no campo através de, por exemplo, GPS. Não custa lembrar que uma boa distribuição de pontos bem definidos é fundamental para o sucesso do processo de avaliação.

As avaliações sistemáticas realizadas sobre imagens com correção de sistema têm indicado erros internos da ordem de 1 a 1.5 pixel, tanto para imagens TM-Landsat como para imagens HRV-Spot adquiridas com visada vertical. Os erros de posicionamento comportam-se como translações cujas resultantes podem atingir cerca de 1000 m nas imagens TM-Landsat e 500 m nas imagens HRV-Spot. Esta diferença pode ser explicada pelo fato do Landsat transmitir diretamente os dados de efemérides junto com os dados de imagem, ao passo que o Spot envia efemérides já um pouco refinadas um ou dois dias depois da recepção dos dados de imagem.

Erros internos variando de 1 a 1.5 pixel representam 30 a 45 m para imagens TM-Landsat, 20 a 30 m para imagens HRV-Spot multiespectrais, e 10 a 15 m para imagens HRV-Spot pancromáticas. Desde que se possa remover o erro de posicionamento, esses números indicam que qualquer

dessas imagens pode ser usada para atualizar cartas na escala 1:250000 ou em escalas menores (usa-se aqui 0.5 mm como referência de erro planimétrico admissível) . A escala 1:100000 merece uma discussão a parte no que se refere às imagens TM. É inegável que, pelo menos do ponto de vista geométrico, as imagens HRV-Spot podem servir à atualização de cartas na escala 1:100000, mas é igualmente inegável que o erro interno típico de uma imagem TM-Landsat aproxima-se muito de 50 m, que representa os tais 0.5 mm na escala 1:100000. Assim, deve-se olhar com cuidado a afirmação de que se pode atualizar uma carta 1:100000 a partir de imagens TM. Pode-se ainda concluir que apenas as imagens HRV-Spot pancromáticas podem ser usadas para a atualização de cartas na escala 1:50000.

A argumentação apresentada no parágrafo acima pressupõe a eliminação do erro de posicionamento. Neste ponto entra em cena a correção geométrica por pontos de controle como fins de refinamento da correção de sistema. Alguns poucos pontos, bem distribuídos ou não, podem facilmente modelar a translação que representa o erro de posicionamento. A modelagem deste erro é feita imperceptivelmente no domínio analógico quando o fotointérprete posiciona a folha transparente com os dados interpretados sobre a carta e faz a amarração entre ambos através de feições homólogas. Fica claro, então, que a combinação da correção de sistema com o refinamento por pontos de controle é a melhor opção para quem se interessa por atualização de cartas. As imagens já devem ser adquiridas com a correção de sistema e o refinamento pode ser executado através do módulo de registro de imagens, típico na maior parte dos SIG que suportam os formatos vetorial e raster. Este procedimento é muito superior ao que pretende modelar exclusivamente por pontos de controle uma imagem sem correção geométrica.

Deve-se ainda chamar atenção para o fato de que imagens HRV-Spot adquiridas com visada lateral estão sujeitas ao problema do deslocamento devido ao relevo. Este efeito somente é tratado nas imagens do nível 3, que não se encontram disponíveis no INPE. É bom que se tenha em mente que imagens HRV-Spot nos níveis 2A ou 2B, com visada lateral considerável, não devem sequer ser produzidas.

Em resumo, uma metodologia de atualização de cartas deve prever o uso de imagens com correção de sistema, em visada vertical, ficando o uso de pontos de controle restrito à tarefa de refinar a correção de sistema, eliminando o erro de posicionamento e, eventualmente, melhorando um pouco o erro interno.

#### **4. Necessidade de um programa nacional de atualização**

Ao longo de todos esses anos de trabalho com correção geométrica e avaliações de qualidade geométrica de imagens o INPE sempre adotou a postura que lhe cabe por atribuição, que é a da investigação científica como meio de geração de tecnologias e metodologias passíveis de transferência a órgãos de caráter mais executivo.

Houve várias investigações sérias sobre a possibilidade de atualização de cartas topográficas a partir de imagens de satélite. Alguns trabalhos envolveram, além dos pesquisadores do INPE, profissionais da área de cartografia que desenvolveram suas teses de mestrado no assunto de correção geométrica e atualização cartográfica. Em diversas ocasiões, principalmente durante os congressos da área de sensoriamento remoto, geoprocessamento e cartografia, o INPE apresentou os resultados de seus trabalhos com o objetivo maior de sensibilizar os órgãos encarregados de executar o mapeamento. Alguns convênios com estes órgãos também foram

estabelecidos, mas nunca se conseguiu dar consecução efetiva à idéia de que atualização cartográfica por imagens de satélite é um dos benefícios sociais que pode facilmente ser cobrado da comunidade de sensoriamento remoto. Convém lembrar que esta comunidade tem feito seu papel, mas parece esbarrar sempre em circunstâncias de pouca atenção com benefícios imediatos à sociedade.

Os órgãos responsáveis pelo mapeamento poderiam adotar um programa parecido com o usado pelos canadenses. Numa primeira etapa, as imagens de sensoriamento remoto seriam usadas para o monitoramento do território e identificação de áreas onde as mudanças do meio físico justifiquem um processo de atualização. Isto poderia ser realizado sobre imagens em papel na escala 1:250000, por exemplo. Com uma periodicidade de, diga-se, cinco anos, essas áreas prioritárias poderiam ser atualizadas a partir de imagens com correção de sistema refinada por pontos de controle, conforme discutido neste trabalho. Até mesmo a imagem em papel (que normalmente tem correção de sistema) poderia ser usada para trabalhos de atualização em escalas 1:100000 ou menores.

Tem sido realmente frustrante verificar, após todos esses anos, que se tem que lidar com praticamente os mesmos problemas cartográficos de uma década atrás. As cartas topográficas existentes continuam muito desatualizadas. Apesar da decepção não se pode esquecer que existem órgãos com a atribuição de executar o mapeamento e a sua atualização. A estes órgãos devem ser alocados os recursos necessários para a implementação e manutenção de um programa de atualização cartográfica.

Com a disponibilidade de SIG e programas para confecção de mapas em computadores de uso pessoal, reforçou-se muito a idéia equivocada de que o usuário, qualquer que seja, pode irrestritamente ser o responsável pelo mapinha digital facilmente gerado e enviado à plotadora ou à impressora.

Por uma questão de competência e direito esta tarefa deve ser supervisionada pelo engenheiro cartógrafo. Pela mesma razão simples e direta que faz do arquiteto o responsável pelo projeto geral de uma casa. A questão prática da atualização parece ser então o dilema entre a falta de recursos dos órgãos responsáveis pelo mapeamento e a possibilidade de uma solução rápida feita sabe-se lá como. Uma coisa é realizar pequenas atualizações para que o mapeamento temático em questão não comprometa todo um projeto em execução, tarefa perfeitamente cabível às empresas que hoje atuam no mercado de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Outra coisa é ter a pretensão de editar e publicar uma carta atualizada, o que ainda deve ser feito pelos órgãos responsáveis pelo mapeamento do território brasileiro. O perigo maior, que deve ser evitado a todo custo, é a proliferação de documentos cartográficos de qualidade questionável. Deve-se sempre ter em mente que o produto final de um projeto típico de geoprocessamento e sensoriamento remoto pode vir a ser um dado de entrada num outro projeto.

## **5. Leituras complementares sugeridas**

D'ALGE, J. C. L. "Qualidade geométrica de imagens TM do Landsat 5". XIII Congresso Brasileiro de Cartografia, Brasília, DF, julho, 1987.

D'ALGE, J. C. L.; BEZERRA, P. C. R.; MEDEIROS, V. M. "Geometric system correction with orbit determination as an option to produce TM-Landsat image maps without ground control points". 16th ISPRS Congress, Kyoto, Japan, July, 1988.

D'ALGE, J. C. L.; FERREIRA, N. A. "Perspectivas de atualização do mapeamento sistemático a partir de imagens orbitais". V Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, RN, outubro, 1988.

FERREIRA, N. A. "Um sistema para atualização de documentos cartográficos em ambiente de microcomputadores". Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, IME, 1988, 64p.

II, F. A. M.; D'ALGE, J. C. L.; SOUZA, R. C. M.; CORREIA, V. R. M.; II, S. S. "Integração de imagens orbitais a uma base de dados cartográficos". VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Manaus, AM, junho, 1990.

MACHADO E SILVA, A. J. F. "Modelos de correção geométrica para imagens HRV-Spot". Dissertação de Mestrado, São José dos Campos, INPE, 1988, 239p (INPE 5001-TDL/395).

MACHADO E SILVA, A. J. F.; D'ALGE, J. C. L. "Avaliação da qualidade geométrica das imagens TM-Landsat". Simpósio Latino-Americano de Sensoriamento Remoto, Gramado, RS, agosto, 1986.

MACHADO E SILVA, A. J. F.; D'ALGE, J. C. L.; BEZERRA, P. C. R.; BARBOSA, O. C. "Correção geométrica de imagens HRV-Spot". V ENECART, Presidente Prudente, SP, julho, 1988.

SERRA, P. R. M. "Geração de imagens TM-Landsat em fitas compatíveis com computador geometricamente corrigidas". XIII Congresso Brasileiro de Cartografia, Brasília, DF, julho, 1987.

VERGARA, O. R. “Avaliação de produtos de sensoriamento remoto para fins de atualização cartográfica”. Dissertação de Mestrado, São José dos Campos, INPE, 1994, 155p (INPE 5584-TBI/546).

VERGARA, O. R.; CONTRERAS FRAU, A.; D’ALGE, J. C. L. “Actualización de cartas topográficas a través de imágenes orbitales”. IV Simposio Latinoamericano en Percepcion Remota, Bariloche, Argentina, novembro, 1989.

VERGARA, O. R.; CONTRERAS FRAU, A.; D’ALGE J. C. L. “Actualización de cartas topográficas usando imágenes orbitales en un ambiente de microcomputador” Jornadas Internacionales sobre uso de Computadoras en investigaciones Científicas y Técnicas, Mendoza, Argentina, abril, 1991.

VERGARA, O. C.; D’ALGE, J. C. L. “Metodologia de atualização de cartas topográficas com produtos de sensoriamento remoto e SIG”. Congresso Brasileiro de Cartografia, Salvador, BA, agosto, 1995.

VERGARA, O. R.; D’ALGE, J. C. L.; FITGIBBON, K. T.; ERTHAL, G. J. “Geometric accuracy of a cartographic product at 1:50,000 scale updated by digital HRV-Spot images at level 1B”. International Cartographic Conference, Barcelona, Spain, September, 1995.