

UMA METODOLOGIA PARA ATUALIZAÇÃO PLANIMÉTRICA DE CARTAS A PARTIR DE IMAGENS DE SATÉLITES

TC José Niu dos Santos
Eng Cart MSc - 1ª DL

1. INTRODUÇÃO

Devido à sua vasta extensão territorial e, conseqüentemente, devido ao grande número de cartas necessárias ao seu recobrimento (3036 cartas na escala 1: 100.000 ou 550 cartas na escala 1: 250.000), o Brasil, a par da falta de recursos necessários para completar o mapeamento de todo o seu território, convive com o problema de atualizar os produtos cartográficos já elaborados.

O atual Diretor do Serviço Geográfico, preocupado com o problema, determinou a elaboração de um PLANO DE ATUALIZAÇÃO DE CARTAS, abrangendo as áreas mapeadas pela DSG (Bol Int nº 037, de 16 Mai 86, da DSG). O referido Plano, em fase de conclusão, será submetido à apreciação da COCAR, de forma a ser compatibilizado com o Programa de Dinamização da Cartografia - PDC, no que for exequível.

A planimetria, em seus aspectos preponderantes (criação de novas cidades, modificação da área urbana, expansão da rede viária e modificação da cobertura vegetal), é o principal fator determinante de desatualização de uma carta.

O objetivo do presente trabalho é apresentar uma metodologia que, combinando o sensoriamento remoto (atual e futuro) com procedimentos fotogramétricos-analíticos convencionais, poderá simplificar, sobremaneira, a atualização planimétrica de cartas.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Proposição do Trabalho

Propõem-se, neste trabalho, a apresentação de uma metodologia para atualização planimétrica de car-

tas, através da transformação geométrica, ponto a ponto, de uma imagem de satélite para o sistema UTM, a partir dos resultados obtidos em Tese de Mestrado apresentada no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR [1].

2.2. Fundamentos Teóricos

2.2.1. Transformações Geométricas

Os tratamentos matemáticos e computacionais cada dia, mais e mais, substituem as atividades analógicas e gráficas convencionais. As transformações (relações) geométricas passam a ser instrumentos fundamentais de trabalho para o fotogrametrista e o geodesta modernos [2].

O estudo geométrico de objetos, em dois espaços, requer um conjunto de pontos dados em ambos os espaços.

Um número de pontos dados pode conter informações INSUFICIENTES, SUFICIENTES (modelo rígido) ou SUPERABUNDANTES (ajustamento).

A maior ou menor complexidade do modelo matemático, requerido na transformação, dependerá:

- da realidade física;
- do rigor de precisão desejado;
- das condições econômicas.

A seleção do modelo matemático, mais adequado ao fenômeno físico, é preponderante na eficiência dos resultados desejados... é a parte mais científica da transformação — Assim, definido o modelo matemático apropriado, basta medir pontos comuns aos dois espaços (E e E'), inserir os dados numéricos no modelo selecionado, calcular e ajustar (MMQ).

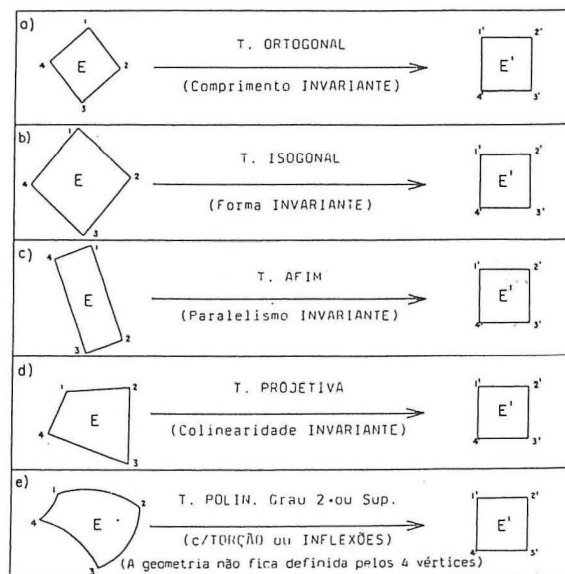


Fig. 1 - Relações Geométricas Entre dois Espaços E e E'.

OBS.: - No trabalho ora proposto, temos o espaço E da Imagem e o espaço E' do Sistema UTM.

2.2.2. Definição do Modelo Matemático

A metodologia ora proposta é abrangente, podendo ser desenvolvida a partir de qualquer tipo de imagem (LANDSAT, SPOT, e outras)... pode-se transformar qualquer tipo de imagem (espaço E qualquer), para o sistema UTM, ou outro (espaço E' qualquer).

Na Tese de Mestrado referenciada, ficou comprovado, matematicamente, que, para a transformação da imagem LANDSAT MSS BULK para o sistema UTM, o modelo matemático mais adequado seria:

- o Polinômio de 3º grau para a imagem completa;
- o Polinômio de 2º grau para a imagem quadrante.

Seguindo-se raciocínio análogo ao da Tese, e desenvolvendo-se cálculos e ajustamentos através da programação FORTRAN ali elaborada, pode-se, para qualquer tipo de imagem, definir qual o modelo matemático mais adequado... qual o modelo mais simples (mais econômico) capaz de retificar e deslocar a imagem para o terreno (sistema UTM).

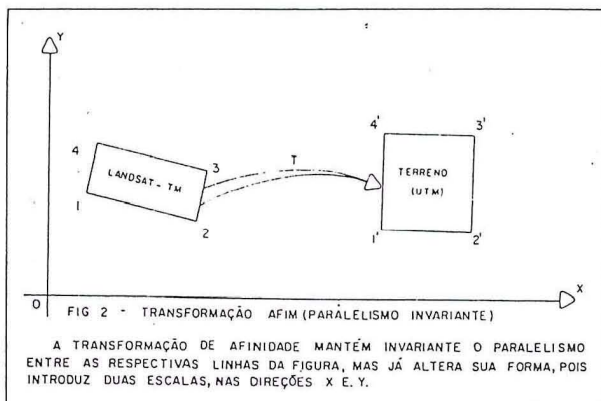
2.3. Uso Específico da Imagem LANDSAT TM

Como já dissemos, a metodologia é abrangente e transforma qualquer imagem (espaço E) para o sistema UTM (espaço E'). Porém, considerando que, atualmente, a melhor imagem disponível, periodicamente, no Brasil, é a LANDSAT TM, e visando tornar o presente trabalho o mais prático possível, facilitando-lhe o entendimento, doravante nos referiremos, especificamente, a transformação da imagem TM (espaço E) para o sistema UTM (espaço E').

2.3.1. Escolha do Modelo Matemático

a. Justificativa

A imagem analógica TM, além das correções geométricas relacionadas ao movimento de varredura do espelho do sistema sensor e a correção do efeito provocado pela rotação da Terra, feita através do sistema I-100, possui também as correções devidas à variações de atitude, altitude, e velocidade do satélite ao longo da cena, bem como a correção devida à esfericidade da Terra [3]. Portanto, apresenta-se sem torções ou inflexões, podendo-se aplicar o polinômio de 1º grau (afinidade) para transformar os pontos da imagem para o sistema UTM



b. Modelo Matemático da Transformação Afim (Pol 1º grau)

$$X = a_1 x + a_2 y + a_3$$

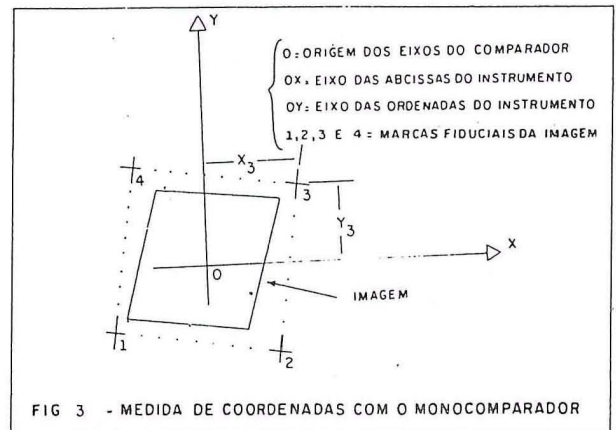
$$Y = a_4 x + a_5 y + a_6$$

2.3.2. Identificação e Extração dos Pontos de Apoio

a. Selecionam-se 6 a 9 pontos de coordenadas UTM conhecidas, bem distribuídos na imagem [4];
 b. As coordenadas planas (X,Y), dos pontos de apoio, podem ser medidas no terreno ou extraídas, graficamente, de cartas topográficas disponíveis, por interpolação entre as quadriculas;
 . No caso de se utilizar base cartográfica (maior economia) deve ser feito um estudo preliminar sobre a carta topográfica e a imagem analógica TM da área em estudo. Os pontos de controle devem partir de feições bem definidas na carta e na imagem, tais como:

- cruzamentos ou bifurcações de estradas;
- extremidades de aeroportos;
- pontes rodoviárias;
- confluências de rios;
- barragens;
- centro geométrico de lagos, etc.

d. As coordenadas dos pontos de apoio, na imagem, podem ser medidas com o PLANICOMP C-100, utilizado como "monocomparador de alta precisão" (precisão de pontaria de 3 m).



2.3.3. Uniformização das Coordenadas de imagem

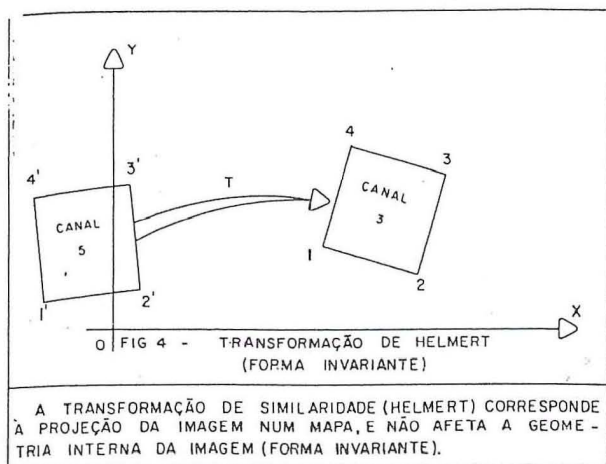
a. Justificativa

A fim de se obter uma melhor definição das feições básicas, a serem interpretadas na imagem, pode-se utilizar a combinação dos canais 3 e 5 que se complementam (na banda 3 as rodovias e cidades são identificadas facilmente, ao passo que na 5 as massas de água aparecem com maior nitidez).

Necessita-se, portanto, uniformizar as coordenadas de imagem de todos os pontos, isto é, transformá-los a um único sistema — sistema do canal 3, por exemplo: neste caso todos os pontos que viabilizaram uma melhor observação no canal 5, deverão ter suas coordenadas transformadas para o sistema do canal 3. Enfatiza-se que são todos os pontos, tanto os de apoio como os pontos definidores de feições da imagem a serem, posteriormente, transformados para o sistema UTM.

b. Seleção do modelo matemático mais adequado.

Para uniformização das coordenadas de imagem, como se trata de variação de canais da mesma cena (mesma geometria), deve-se optar pela transformação de Helmert, considerando que tais transformações são projeções similares, provindo apenas de duas translações, uma rotação e um fator de escala, ou seja, UMA TRANSFORMAÇÃO DE HELMERT NÃO AFETA A GEOMETRIA INTERNA DA IMAGEM.



c. Modelo Matemático

O modelo matemático da transformação de similaridade é expresso por:

$$X_i = a_1x_i - a_2y_i + a_3 \quad i = 1, 2, 3 \text{ e } 4$$

$$Y_i = a_2x_i + a_1y_i + a_4$$

onde:

X_i, Y_i - são as coordenadas das 4 marcas fiduciais da imagem, no canal 3;

x_i, y_i - são as coordenadas das 4 marcas fiduciais da imagem, no canal 5;

a_j - são os parâmetros de transformação a serem determinados, mediante um cálculo de ajustamento (Modelo Combinado), onde $j=1, 2, 3, 4$.

d. Pontos de controle

As 4 (quatro) marcas fiduciais, comuns aos dois espaços em jogo (canal 3 e canal 5) devem ser utilizadas como pontos de apoio para cálculo dos parâmetros necessários à efetivação das transformações das coordenadas do canal 5 para o canal 3.

e. Desenvolvimento Matemático, Programas FORTRAN, Cálculos e Ajustamentos

Pode-se adotar os procedimentos de (SANTOS [5]).

f. Pontos preparados para as transformações

Os 6 a 9 pontos de apoio selecionados, bem como os pontos definidores de feições da imagem a serem atualizados na carta, após medidos nas imagens (canais 3 a 5) e homogeneizados para o canal 3, estão preparados para as transformações a serem desenvolvidas.

2.3.4. Transformação das coordenadas de imagem em coordenadas UTM.

a. Modelo Matemático (T. Afim)

$$X_i = a_1x_i + a_2y_i + a_3 \quad i = 1, 2, 3... 11 \text{ e } 12$$

$$Y_i = a_4x_i + a_5y_i + a_6$$

onde:

X_i, Y_i - são as coordenadas UTM;

x_i, y_i - são as coordenadas de imagem;

a_j - são os parâmetros de transformação a serem determinados mediante um cálculo de ajustamento (Modelo Combinado), onde $j=1, 2, 3, \dots 6$.

b. Cálculo dos Parâmetros (a_j) e transformação das coordenadas da imagem

A partir das coordenadas da imagem (homogeneizadas) e das coordenadas UTM dos pontos de apoio, pode-se calcular e ajustar os parâmetros de transformação a_j ($i=1, 2, \dots 6$) e transformar as coordenadas dos pontos definidores de novas feições, identificadas na imagem, em coordenadas UTM. Todo o desenvolvimento matemático (cálculos e ajustamentos pelo MMQ) pode ser executado através dos programas FORTRAN e procedimentos encontrados em (SANTOS [6]).

2.3.5. Atualização Planimétrica da Carta

De posse das coordenadas UTM dos pontos definidores das novas feições identificadas na imagem (rodovias, pontes, aeroportos, contorno de clareiras, novas culturas, etc...), pode-se localizar tais feições na carta — tem-se, assim, a carta atualizada através da locação, ponto a ponto, dos novos alvos.

2.4. Resumo da Sequência para atualização de cartas a partir de uma imagem LANDSAT TM

1) Juntam-se:

a) Imagem LANDSAT-TM: - Uma cena completa, nos canais 3 e 5, em filme positivo Esc 1: 1.000.000 (dimensões compatíveis com as placas do Planicomp C-100);

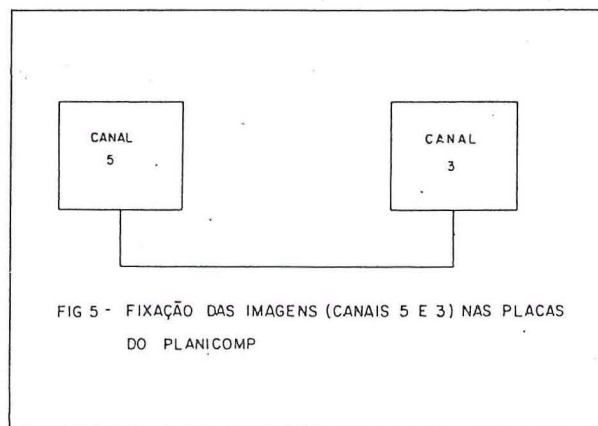
b) Cartas topográficas na escala 1:100.000, correspondentes à área coberta pela cena.

2) Identificam-se 6 pontos de apoio, bem distribuídos na imagem e perfeitamente identificados nas cartas topográficas juntadas;

3) Extraem-se, das cartas topográficas, as coordenadas UTM dos 6 pontos de apoio;

4) Medição das Coordenadas de Imagem:

a) Colocam-se os filmes dos canais 5 e 3, nas placas da



esquerda e direita do Planicom, respectivamente;

b) Medem-se as coordenadas das quatro marcas fiduciais, e dos 6 pontos de apoio, nos dois canais;

c) Medem-se as coordenadas de todos os pontos necessários à definição dos contornos dos novos alvos identificados na imagem;

d) Usando as quatro marcas fiduciais como pontos de controle entre os dois canais, calculam-se os parâmetros de transformação do sistema do canal 5 para o sistema do canal 3, através de transformação de similaridade;

e) Transformam-se as coordenadas de todos os pontos melhor identificados no canal 5, para o canal 3 (uniformização das coordenadas de imagens).

5) Usando-se os 6 (seis) pontos de apoio e através da transformação afim, calculam-se os parâmetros de transformação do sistema da imagem (canal 3) para o sistema UTM;

6) De posse dos parâmetros de transformação a_i ($i=1, 2, \dots, 6$), do modelo polinomial do 1º grau (T. Afim), transformam-se as coordenadas de qualquer ponto da imagem (sistema canal 3) em coordenadas UTM — Assim, pode-se local, ponto a ponto, na carta topográfica, os contornos do novo alvo identificado na imagem LANDSATM.

7) Desenvolvimento Matemático e Programas FORTRAN

Todo o desenvolvimento matemático (cálculos e ajustamentos pelo MMQ) pode ser realizado de acordo com (SANTOS [6]).

3. CONCLUSÃO

Buscou-se, com o presente trabalho, apresentar uma nova metodologia para atualização planimétrica de cartas, através da combinação do sensoriamento remoto com procedimentos fotogramétrico-analíticos convencionais. O método, econômico e rápido, poderá simplificar, sobremaneira, a atualização planimétrica de cartas.

Resumidamente, o método consiste no estabelecimento de relações geométricas entre dois espaços quaisquer E (espaço imagem) e E' (sistema UTM) visando a definição do modelo matemático mais adequado à transformação. Definido o modelo mais apropriado, basta se medir pontos comuns aos dois espaços (E e E'), inserir os dados numéricos no modelo

matemático, calcular e ajustar. Para os cálculos analíticos e ajustamentos (MMQ) desenvolveu-se programação FORTRAN adequado (ver SANTOS [1]).

Para concluir, podemos afirmar que o método permitirá, a baixíssimos custos, a atualização de cartas através da locação precisa de novos alvos — A escala da carta a ser atualizada dependerá da maior ou menor resolução da imagem utilizada pois o método é preciso e abrangente, podendo ser desenvolvido a partir de qualquer tipo de imagem (LANDSAT, SPOT e outras futuras). Assim, a medida que a resolução das imagens disponíveis for aumentando, o método poderá ser utilizado na atualização de cartas de maior escala.

NOTAS DE REFERÊNCIA

- [1] SANTOS, José Niu Lopes dos. *Pesquisa Analítico-Fotogramétrica da Precisão Geométrica de uma Imagem Landsat MSS Processada no Brasil*. Tese de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1983.
- [2] LUGNANI, João Bosco. *Transformações Geométricas. Notas de Aula*. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1981. p. A1-A25.
- [3] ARAÚJO, C. A. G.; D'ALGE, J. C. L. *Correção geométrica de imagens*. Simpósio Latino-Americano de Sensoriamento Remoto. Gramado, RS. 10-15 Agosto 1986.
- [4] SANTOS, José Niu Lopes dos. *Pesquisa Analítico-Fotogramétrica da Precisão Geométrica de uma Imagem Landsat MSS Processada no Brasil*. Tese de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1983.
- [5] Ibid. p. 44-53.
- [6] Ibid. p. 62-63, 177-217.