

INTEGRAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS A UMA BASE DE DADOS CARTOGRÁFICOS

Fernando Augusto Mitsuo Ii
Júlio Cesar Lima d'Alge
Ricardo Cartaxo Modesto de Souza
Virgínia Ragoni de Moraes Correia
Sílvia Shizue Ii

Instituto de Pesquisas Espaciais-INPE
Departamento de Processamento de Imagens-DPI
Caixa Postal 515
12201 - São José dos Campos - SP

RESUMO

A integração de imagens orbitais a uma base de dados cartográficos exige um processo de geocodificação que consiste na correção geométrica das imagens, vinculando-as ao sistema de projeção da base de dados. Este trabalho descreve a metodologia adotada no INPE, considerando-se os sistemas de projeção mais utilizados e abordando os casos de imagens de alta (satélites de sensoriamento remoto) e baixa (satélites meteorológicos) resoluções espaciais.

ABSTRACT

Matching between orbital imagery and cartographic data bases requires a geocoding procedure, which comprises the geometric correction of the images in order to link them to the projection of the data base. This work presents the importance of geocoding, and describes the methodology used at INPE, considering some important cartographic projection systems and both images of high (remote sensing satellites) and low (meteorological satellites) spatial resolutions.

1. INTRODUÇÃO

Os satélites meteorológicos e de sensoriamento remoto cobrem com uma certa periodicidade diferentes regiões da superfície terrestre (exceção feita ao satélite GOES, que é geoestacionário), gerando determinadas informações através das imagens de seus sensores. Os estudos atuais nas áreas de Sensoriamento Remoto e Meteorologia pressupõem a integração das informações oriundas das imagens com aquelas provenientes de levantamentos de campo, cartas topográficas e mapas temáticos. O ambiente típico para a integração destes dados reúne um Sistema de Tratamento de Imagens (STI) e um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

O INPE, através do Departamento de Processamento de Imagens (DPI), desenvolveu esse ambiente de trabalho apoiado em microcomputadores. O SIG/INPE compreende um conjunto de

ferramentas para a aquisição, armazenamento, recuperação, transformação e saída de dados espaciais. Estes dados descrevem os atributos e as relações topológicas entre objetos do mundo real, posicionando-os em relação a um sistema de coordenadas (Burrough, 1986). O STI/INPE presta-se ao reconhecimento de padrões e ao processamento digital de imagens.

Atualmente o INPE processa e distribui imagens dos satélites LANDSAT e SPOT para estudos de sensoriamento remoto. Estas imagens são fornecidas aos usuários sem correção geométrica ou com correção geométrica de sistema, caso em que são utilizados os dados de efemérides, de atitude, e do sistema de imageamento transmitidos pelos satélites (Serra, 1987). Para as aplicações meteorológicas o INPE recebe e distribui imagens sem correção geométrica dos satélites NOAA e GOES.

Qualquer projeto de trabalho conduzido num SIG pressupõe o estabelecimento de uma estrutura de parâmetros de projeção responsável pela distribuição espacial dos elementos armazenados. Por isso, um SIG deve apresentar ao usuário um conjunto de sistemas de projeção que possibilite a sua atuação em diversas áreas ligadas ao levantamento de recursos naturais e monitoramento do meio ambiente. Para as aplicações típicas de sensoriamento remoto deve-se considerar sistemas de projeção que viabilizem o mapeamento em escalas médias e pequenas, enquanto que para as aplicações meteorológicas são mais importantes as projeções que se adequam ao mapeamento em escalas pequenas.

O SIG/INPE permite (nova versão em desenvolvimento) a utilização de um conjunto de sistemas de projeção que viabilizam trabalhos em escalas médias e pequenas. Tais projeções são indicadas a seguir junto com as justificativas para cada uso:

- a) Universal Transversa de Mercator (UTM): mapeamento básico e mapeamento temático em escalas médias.
- b) Mercator: cartas náuticas, aplicações meteorológicas.
- c) Gauss-Kruger: mapeamento básico de algumas regiões do sul do Brasil.
- d) Cônica Conforme de Lambert: cartas ao milionésimo e alguns mapas temáticos.
- e) Policônica: alguns mapas temáticos.
- f) Cilíndrica equidistante: algoritmo simples, utilizada em algumas aplicações meteorológicas.
- g) Universal Polar Estereográfica (UPS): mapeamento das calotas polares, aplicações meteorológicas.
- h) Cônica Conforme Bipolar Oblíqua: representação continental da América do Sul.
- i) Cônica Equivalente de Albers: é interessante manter no sistema uma opção de projeção equivalente.
- j) Miller: é interessante manter no sistema uma opção de projeção para representação do mapa mundi.

A seguir apresenta-se a metodologia a ser implementada no DPI/INPE com a finalidade de integrar as imagens de satélites meteorológicos e de sensoriamento remoto à base de dados do SIG/INPE.

2. METODOLOGIA

O conceito de geocodificação, à nível de um SIG, relaciona-se à aplicação que se deseja fazer, ou seja,

depende das informações já existentes (ou a serem armazenadas) na base de dados. Uma imagem é dita geocodificada quando está registrada com os dados existentes através de feições homólogas. Uma imagem geocodificada está sempre orientada para o norte do sistema de projeção utilizado, isto é, as linhas da imagem dispõem-se perpendicularmente à direção norte da projeção (Ii et al, 1989). A qualquer imagem geocodificada associa-se uma relação linear envolvendo coordenadas de imagem (linha,coluna) e coordenadas de projeção (X,Y), a saber:

$$\begin{aligned} X &= (\text{pixel}_h)(j - j_0) + X_0 \\ Y &= (\text{pixel}_v)(i_0 - i) + Y_0 \end{aligned} \quad (1)$$

Na equação (1) pixel_h e pixel_v representam, respectivamente, as resoluções espaciais horizontal e vertical da imagem, (i₀,j₀) são coordenadas de imagem de um ponto de referência (usualmente o centro da cena), (X₀,Y₀) são as coordenadas de projeção deste ponto de referência, (i,j) são coordenadas de imagem e (X,Y) suas coordenadas de projeção correspondentes.

A primeira análise a ser feita em um processo de geocodificação diz respeito à origem da imagem. Aquelas obtidas por satélites de sensoriamento remoto permitem uma identificação relativamente fácil de feições ou pontos de controle, enquanto que nas imagens de satélites meteorológicos essa tarefa é bastante dificultada pela baixa resolução espacial, havendo, portanto, a necessidade de uma abordagem que não dependa totalmente da identificação de pontos de controle. Vale ressaltar que estes pontos (características identificáveis numa imagem, preferencialmente imutáveis no tempo, tais como cruzamentos de estradas, cabeceiras de aeroportos, etc.) serão usados na construção das equações de mapeamento que realizarão o processo de geocodificação.

Em segundo lugar é interessante considerar separadamente os casos em que as imagens não têm correção geométrica e aqueles em que as imagens já foram submetidas à correção geométrica de sistema. Nestas, via de regra, a consistência geométrica interna é garantida pela correção de sistema, restando apenas eliminar o erro de posicionamento e realizar uma reamostragem que inclua a rotação para o norte do sistema de projeção usado (d'Alge, 1987).

A primeira etapa do processo de geocodificação consiste na interação do usuário com o sistema para definir a distribuição espacial das informações na base de dados, ou seja, estabelecer o sistema de projeção ao qual se deseja vincular a imagem de trabalho. Nesta fase o usuário informa ao sistema todos os parâmetros de projeção necessários às transformações entre coordenadas de projeção e coordenadas geodésicas. Esta etapa exige informações precisas que nem sempre estão disponíveis de forma imediata. Como exemplo, cita-se o caso da projeção UTM, em que é fácil saber o meridiano central do fuso; basta examinar qualquer carta topográfica da região de interesse. Já no caso da projeção cônica conforme de Lambert, quando se deseja trabalhar na escala 1:1000000, não é tão simples para o usuário, dependendo da sua formação, estabelecer os dois paralelos padrão e o paralelo origem, pois estes dados não constam das cartas ao milionésimo publicadas pelo IBGE. É certo que se pode fazer, neste caso, com que o sistema calcule esses parâmetros a partir do conhecimento de uma latitude qualquer da região, mas isso não impede que se faça uma crítica à ausência de informações sobre parâmetros de projeção em vários mapas editados por diversos órgãos de mapeamento do país.

2.1 IMAGENS SEM CORREÇÃO GEOMÉTRICA

Nesta categoria se enquadram as imagens MSS-LANDSAT, TM-LANDSAT nível 0, SPOT níveis 1A e 1B, NOAA e GOES distribuídas pelo INPE. Como já foi enfatizado, devido à baixa resolução espacial das imagens obtidas por satélites meteorológicos, faz-se necessário tratá-las através de uma abordagem distinta da adotada para as imagens de satélites de sensoriamento remoto.

2.1.1 SATÉLITES DE SENSORIAMENTO REMOTO

Para as imagens LANDSAT e SPOT sem correção geométrica utiliza-se o mapeamento polinomial entre coordenadas de imagem e coordenadas de projeção de pontos de controle previamente selecionados. As coordenadas de projeção destes pontos podem ser adquiridas via teclado ou obtidas a partir de mapas confiáveis colocados sobre a mesa digitalizadora do sistema. Na fase de aquisição das coordenadas de imagem os recursos de vôo, realce e "zoom", ferramentas básicas em qualquer STI, devem sempre ser usados. Ainda nesta fase o sistema oferece ao usuário uma facilidade adicional denominada

"preditor", que permite agilizar o processo de aquisição de pontos de controle e auxiliar a identificação de pontos de má qualidade (Ii et al, 1989). Pode-se optar pelo uso de polinômios de primeiro ou segundo grau em função do número de pontos de controle adquiridos. Polinômios de grau mais elevado requerem muitos pontos de controle e não introduzem melhorias significativas (Machado e Silva e d'Alge, 1986). Sempre que possível o conjunto de pontos de controle deve ser dividido em dois subconjuntos: um é utilizado para o mapeamento polinomial e o outro para a avaliação do desempenho da geocodificação. A qualidade, quantidade e a distribuição dos pontos de controle são fatores fundamentais para viabilizar bons resultados com o mapeamento polinomial.

Por último faz-se uma reamostragem que inclua uma rotação para o norte da projeção selecionada com o objetivo de gerar a imagem geocodificada. Para as imagens de sensoriamento remoto pode-se utilizar um método híbrido, que usa convolução cúbica em regiões rugosas da imagem e interpolação bilinear em regiões homogêneas (Câmara Neto, 1982).

2.1.2 SATÉLITES METEOROLÓGICOS

Para as imagens NOAA e GOES deve ser utilizado um modelo matemático que leve em conta toda a dinâmica do processo de formação das imagens. Este modelo considera os parâmetros orbitais do satélite, os dados de atitude da plataforma do satélite, o sistema de imageamento e o elipsóide de referência adotado como modelo para a Terra. Em linhas gerais, para um determinado instante, obtém-se a posição do satélite num referencial geocêntrico inercial. Com os dados de atitude e do sistema de imageamento define-se uma direção de visada, que aponta para o pixel da superfície da Terra que está sendo "observado" pelo sensor naquele instante. Com uma posição (ponto) e uma direção estabelece-se a equação de uma reta no espaço. A interseção dessa reta com a superfície do elipsóide define um ponto para o qual as coordenadas geodésicas podem ser calculadas com facilidade e transformadas em coordenadas planas da projeção escolhida para o processo de geocodificação. A repetição deste procedimento para toda a imagem (ou para alguns pontos da imagem, caso em que os outros valores são determinados por interpolação) conduz ao que é comumente chamado de equação de navegação. Esta equação, representada pela equação (1) acrescida de uma matriz de rotação, relaciona

coordenadas de imagem (linha,coluna) a coordenadas de projeção.

É claro que essa abordagem acarreta a propagação de todos os erros inerentes aos dados utilizados para as coordenadas de projeção resultantes do modelo. Por isso, é possível pensar numa espécie de refinamento usando um modelo polinomial (primeiro grau) e alguns raros pontos de controle viáveis tais como pontos notáveis na linha de costa ou confluências de grandes rios. Isto tem sido possível nas imagens NOAA, mas é praticamente inviável nas imagens GOES (Figueiredo, 1990). No caso de se constatar que essa propagação de erros se comporta de forma semelhante a das imagens de sensoriamento remoto com correção de sistema, quando o dado de imagem como um todo fica afetado por um erro de posicionamento, não é necessário realizar sequer um mapeamento polinomial; basta atualizar as translações da equação de navegação (ver item 2.2).

A última etapa consiste novamente no procedimento de reamostragem para geração da imagem geocodificada. Sugere-se aqui o uso de interpolação bilinear ou mesmo vizinho mais próximo.

2.2 IMAGENS COM CORREÇÃO DE SISTEMA

O INPE gera atualmente apenas imagens TM-LANDSAT com correção geométrica de sistema (nível 2), projeção UTM. A este grupo também pertencem as imagens SPOT nível 2A, ainda não disponíveis. Chama-se atenção à situação das imagens SPOT níveis 2B e 3, que representam produtos já geocodificados; neste caso, portanto, as imagens estão prontas para uso em um SIG.

A fita que contém uma imagem com correção geométrica de sistema também fornece os dados necessários para transformar coordenadas de imagem em coordenadas de projeção: resolução espacial horizontal e vertical, coordenadas de imagem e de projeção de um ponto de referência da cena e ângulo de orientação, que é o ângulo entre os eixos dos sistemas de coordenadas de imagem e de projeção. Sabe-se que as coordenadas de projeção assim determinadas englobam os erros inerentes aos dados usados na correção geométrica de sistema. Avaliações já realizadas sobre imagens de sensoriamento remoto mostram que a principal fonte de erro está nos dados de efemérides e que os dados de atitude e do sistema de imageamento são confiáveis. Isto introduz um erro de posicionamento na imagem que

corresponde a uma translação, não afetando sua consistência geométrica interna (d'Alge, 1987).

Neste caso não há necessidade de se utilizar um mapeamento polinomial. Os pontos de controle são usados apenas para eliminar o erro de posicionamento através da atualização das coordenadas de projeção do ponto de referência da cena, o que significa que a quantidade e a distribuição dos pontos de controle já não são fatores tão preponderantes. A aquisição dos pontos de controle é feita de modo análogo ao caso das imagens de sensoriamento remoto sem correção geométrica.

O procedimento de reamostragem para a geração da imagem geocodificada utiliza os mesmos critérios de interpolação já mencionados. A única diferença consiste no uso do ângulo de orientação fornecido junto com o dado de imagem.

Quando o usuário dispõe de uma imagem com correção de sistema numa dada projeção e deseja integrá-la a uma base de dados vinculada a outra projeção o sistema trata essa imagem como se fosse desprovida de correção geométrica. É o caso de um usuário que já tem uma imagem TM-LANDSAT com correção de sistema na projeção UTM e quer utilizá-la num projeto SIG definido na projeção de Mercator num SIG.

3. CONCLUSÃO

Os trabalhos de geocodificação de imagens de sensoriamento remoto realizados no SIG/INPE têm apresentado resultados satisfatórios em diversas aplicações: atualização de cartas, estudos de expansão urbana, monitoramento de desmatamento e estudos de aptidão agrícola.

A utilização de imagens meteorológicas ainda depende da implementação do modelo que faz a correção geométrica de sistema no ambiente do SIG/INPE. Não obstante, já foi realizada a experiência de integrar a um mapa de divisão política da América do Sul dados de queimada extraídos de uma imagem NOAA. Neste caso utilizou-se a projeção cônica conforme bipolar oblíqua.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BURROUGH, P.A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford, Clarendon Press, 1986.
- CÂMARA NETO, G. Métodos de interpolação em imagens digitais por meio de técnicas de projeto de filtros F.I.R. INPE, São José dos Campos, Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada, 1982. (INPE-2663-TDL/120).
- D'ALGE, J.C.L. Qualidade geométrica de imagens TM do LANDSAT-5. In: XIII Congresso Brasileiro de Cartografia, Brasília, 1987.
- FIGUEIREDO, D.C. Sistema de obtenção de índice de vegetação para a América do Sul por processamento digital de imagens NOAA/AVHRR. INPE, São José dos Campos, Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, 1990. (INPE-5068-TDL/407).
- II, F.A.M.; D'ALGE, J.C.L.; II, S.S.; CASTELLARI, S.P.; CORREIA, V.R.M. Geocodificação de imagens orbitais para utilização em sistemas de informações geográficas. In: XIV Congresso Brasileiro de Cartografia, Gramado, 1989.
- MACHADO E SILVA, A.J.F.; D'ALGE, J.C.L. Avaliação da qualidade geométrica das imagens TM-LANDSAT. In: Simpósio Latino-Americano de Sensoriamento Remoto, Gramado, 1986.
- SERRA, P.R.M. Geração de imagens TM-LANDSAT em fitas compatíveis com computador geometricamente corrigidas. In: XIII Congresso Brasileiro de Cartografia, Brasília, 1987.