

Perspectivas em Cartografia por Satélite no Brasil: 1985-1990

Gilberto Câmara Neto

1. Introdução

O aparecimento de satélites de observação da Terra com resolução crescente e diferentes possibilidades de imageamento (incluindo grande número de bandas espectrais e visada lateral) abre interessantes perspectivas na utilização cartográfica das imagens geradas. O presente trabalho pretende discutir os diferentes aspectos do problema e apontar algumas direções nesta tecnologia. Inicialmente, são apresentados os principais sistemas sensores em operação ou previstos até o final da década. A seguir, discute-se sobre o processo de tratamento geométrico das imagens de satélite. Finalmente, são mencionados os principais produtos que poderão estar disponíveis até o final da década, indicando ainda os planos do INPE (Instituto de Pesquisas Especiais) na área.

2. Sistemas Sensores

2.1 — Sensor Landsat MSS (*Varredor Multiespectral*)

Disponível a partir de 1974, o sensor MSS está presente em toda a série LANDSAT. Trata-se de um sensor com 4 bandas espectrais (Tabela 1) a resolução de 80m. A tecnologia de obtenção de dados é a partir de uma varredura (em um único sentido) com espelho móvel.

Um conjunto de experiência tem mostrado que, com número e distribuição adequados de pontos de controle, é possível corrigir geometricamente as imagens MSS, sendo as escalas adequadas 1:500.000 e 1:250.000.

TABELA 1
Características do Sensor LANDSAT MSS

Dimensões cena	183 x 185 km	
Bandas espectrais	Comprimento onda	Região
	0.50 — 0.60 μ m	Visível
	0.60 — 0.70 μ m	Visível
	0.70 — 0.80 μ m	IV próximo
	0.80 — 1.10 μ m	IV próximo
Tamanho da imagem	3240 x 2400	pontos/cena
Resolução	80 m	

2.2 — Sensor Landsat TM (*Mapeamento Temático*)

A partir de 1982, com o lançamento do satélite LANDSAT-4, tornou-se disponível o sensor TM. Dotado de maior número de bandas espectrais (7) e maior resolução (30m) — (Tabela 2), o sensor TM representa um sensível avanço com relação ao MSS. A tecnologia de obten-

ção dos dados é ainda a de um espelho oscilante, com varredura nos dois sentidos. As imagens TM podem ser colocadas em projeções cartográficas, sendo as escalas mais adequadas 1:250.000 e 1:100.000. Uma característica extremamente importante do sensor TM é o seu grande número de bandas, permitindo uma variada gama de utilizações.

TABELA 2
Características do Sensor LANDSAT TM

Dimensões cena	185 x 185 km	
Bandas espectrais	Comprimento onda	Região
	0.45 — 0.52 μ m	Visível
	0.52 — 0.60 μ m	Visível
	0.63 — 0.69 μ m	Visível
	0.76 — 0.90 μ m	IV próximo
	1.55 — 1.75 μ m	IV médio
	2.08 — 2.35 μ m	IV médio
	10.40 — 12.50 μ m	IV normal
Tamanho da imagem	6000 x 6000	pontos/cena
Resolução	30 m	

TABELA 3
Características do Sensor SPOT HRV

Dimensões cena	60 x 60 km	
Bandas espectrais	Comprimento onda	Região
modo multiespectral (XS)	0.50 — 0.50 μ m	Visível
	0.61 — 0.60 μ m	Visível
	0.70 — 0.69 μ m	Visível
	0.70 — 0.90 μ m	IV próximo
modo pancromático (P)	0.50 — 0.73 μ m	Visível
Tamanho da imagem	3000 x 3000	pontos/cena (XS)
	6000 x 6000	pontos/cena (P)
Resolução	20 m (XS)	
	10 m (P)	

Obs.: O SPOT HRV terá 2 sensores idênticos, com um campo de cobertura total de 117 x 60 km, na visada vertical.

2.3 — Sensores SPOT HRV (Alta Resolução no Visível)

O satélite francês SPOT, previsto para lançamento em final de 1985, será o sensor de mais fina resolução disponível para fins civis. Dispõe de três bandas espectrais (com resolução de 20m) e uma banda pancromática (com resolução de 10m), o sensor HRV utiliza uma varredura eletrônica que dispensa o uso de espelho móvel para a captura de dados (Tabela 3). Além disso, o sensor HRV é dotado de capacidade de visada lateral, isto é, de obter um par estereoscópico.

2.4 — Imageadores Radar ERS-1 e Radarsat

O imageador ERS-1 é um programa da Agência Espacial Européia, cujo lançamento está previsto para 1989, e que lança mão de um radar de abertura sintética. O programa RADARSAT é semelhante e está sendo levado a cabo pelo Centro Canadense de Sensoriamento Remoto, com lançamento previsto para 1991. Estes satélites terão órbita polar e capacidade de imageamento sistemático sobre todo o planeta.

Como se sabe, os atrativos de um imageador a radar residem em sua característica "independente do tempo" que permite a observação tanto de noite como de dia, sem interferência de nuvens e chuvas. Além disso, alguns pontos de referência, como rios e construções, aparecem distintamente em imagens radar.

A experiência brasileira com o projeto RADAM é testemunho das possibilidades de utilização do radar. Deve-se notar, no entanto, que o tratamento digital de uma imagem radar é extremamente difícil e custoso.

3. Tratamento Geométrico Digital de Imagens de Satélite

O método mais utilizado para a colocação de imagem em uma projeção cartográfica é realizado no computador e envolve duas fases: a determinação do modelo de correção e sua aplicação.

O modelo de correção faz uso de equações de colinearidade que descrevem a relação entre as coordenadas de imagem e do objeto. As distorções a serem corrigidas incluem efeitos externos (variações de velocidade, altitude e atitude, rotação e esfericidade da Terra) e internos (não-linearidade do espelho e variação na varredura) (Silva, 1984). No caso de imagem obtida obliquamente (caso do radar ou do sensor SPOT HRV) ou de se desejar uma carta topográfica, é necessária ainda a introdução de um MNT — Modelo Numérico de Terreno — (Fleutiaux, 1979). Um MNT é uma grade regularmente espaçada com as cotas de cada ponto e seu uso permite a inclusão de altitude de cada ponto no modelo de correção.

Para a determinação do modelo, usam-se os dados de atitude e efemérides do satélite, provenientes dos sensores e giroscópios a bordo da plataforma.

No caso de existirem pontos de controle na imagem, estes são utilizados para refinar o modelo. O processo de refinamento mais eficiente faz uso de sua filtragem estocástica (Caron and Simon, 1975); no caso de satélite com boa estabilização — LANDSAT 4 e 5 e SPOT — apenas 6 pontos por imagem fornecem resultados satisfatórios.

A aplicação do modelo envolve um processo custoso de cálculo, pois a posição de cada ponto na imagem corrigida deve ser estimada e seu valor de brilho determinado. Melhoras no tempo de processamento podem ser obtidas através de processadores especiais ("array processors"). Desejáveis no caso das imagens LANDSAT MSS, estes são imprescindíveis no caso de imagens LANDSAT TM e SPOT. O processamento digital de imagens de radar é ainda mais complexo e configurações especiais, com vários processadores matriciais, são necessários.

No INPE, encontram-se disponíveis os produtos: a) imagens LANDSAT MSS, na escala de 1:250.000, corrigidas com pontos de controle; b) imagens LANDSAT TM, na escala 1:100.000, sem pontos de controle. Foi ainda desenvolvida uma biblioteca de pontos de controle para o Brasil (Mitsuo Ii et alii, 1984). Presentemente, os desenvolvimentos na área incluem:

- modelo de correção de imagens LANDSAT TM com pontos de controle, incluindo filtragem estocástica;
- capacitação para correção de imagens SPOT adquiridas com visada vertical.

4. Produtos para Uso Cartográfico

4.1 — Mapeamento Planimétrico

O produto mais usual é uma imagem obtida a partir da visada vertical, numa projeção cartográfica desejada. Neste caso, não se utiliza um MNT e a imagem conterá erros de paralaxe, que podem ser importantes no caso de regiões com grandes variações de relevo.

A utilização experimental de imagens LANDSAT MSS para mapeamento planimétrico vem sendo feita em convênio entre o INPE e a DSG/MEX. nes-

te caso, a imagem na escala 1:250.000 serve como fundo, sendo os temas lançados a seguir manualmente. Espera-se que a melhor resolução de imagens LANDSAT TM e SPOT aumente em muito a qualidade das cartas geradas, e permita a utilização da escala 1:100.000.

Uma aplicação importante destes produtos é a atualização de cartas, principalmente em regiões de difícil acesso.

4.2 — Mapeamento Planialtimétrico

Neste caso, os efeitos do relevo são levados em conta, por meio de um MNT. Neste caso, os erros de paralaxe são corrigidos, seja por uma imagem obtida a partir de visada vertical, seja com visada lateral. Pode-se realizar otofotocartas a partir de imagens verticais completadas eventualmente por imagens oblíquas para obter a visão estereoscópica; este processo é análogo à estereo-ortofotografia. No caso de LANDSAT TM, a escala compatível é a de 1:100.000 e no caso do SPOT HRV, a equipe responsável (Guichard, 1983) espera poder realizar revisão de cartas na escala 1:50.000.

4.3 — Mapeamento Temático

Uma utilização com grande potencial — até agora pouco explorada no Brasil — é o mapeamento temático. Neste caso, a imagem deve ser inicialmente corrigida para uma projeção cartográfica desejada. A seguir, por meio de um sistema computacional para processamento de imagens, uma nova imagem é gerada (Câmara e Cartaxo, 1984). Esta nova imagem tanto pode ser uma imagem classificada (onde os diversos temas são separados) ou o resultado de algoritmos de combinações entre as diferentes bandas espectrais. Exemplos deste último caso seriam composições coloridas geradas a partir de imagem "razão entre banda" (ratio), muito úteis em mapeamento geológico. Finalmente, produz-se um documento cartográfico com a imagem resultante.

Um primeiro uso destes produtos, em combinação com informações do campo, está sendo realizado pela equipe da DSG/MEX, em convênio com o INPE (Andrade, 1985). O INPE está tra-

balhando no sentido de definir e implantar todo um conjunto de documentos temáticos, obtíveis a partir de imagem de satélite. Já foi desenvolvida uma metodologia para combinar imagens LANDSAT TM com imagens classificadas (Escada, 1985).

Vale ressaltar que, para este fim, as imagens LANDSAT TM apresentam vantagens com relação ao produto SPOT HRV, devido ao maior número de bandas espectrais e maior potencial temático.

4.4 — Produção de Pares Estereoscópicos

Com o advento dos sensores com visada lateral, caso do SPOT HRV, abre-se ainda a possibilidade de obtenção de pares estereoscópicos, com diferentes relações B/H (base/altura). Estes pares poderiam ser utilizados para determinar a forma e as dimensões do terreno. Vale ressaltar, porém, que estes pares são obtidos na perspectiva cilindro-cônica (Baudoin, 1979) própria aos sensores de satélite. Este fato impede sua utilização direta em aparelhos de restituição mecânicos, adaptados à perspectiva cônica das fotos de avião.

Para o processamento dos pares estereoscópicos, é necessária a utilização de restituidores analíticos (controlados por computador); neste caso, deve-se reprogramar os algoritmos de restituição de forma a levar em conta a diferente perspectiva das imagens de satélite (Guichard, 1983).

Outra possibilidade é a de realizar a restituição diretamente na forma digital. Este processo, envolve processamentos complexos, incluindo reamostragem da imagem e correlação digital em todos os pontos para determinação do modelo de paralaxe. Alguns estudos já foram realizados e os resultados são promissores, mas o método ainda terá alguns anos de maturação (Masson D'Autume, 1984).

4.5 — Sistema Geográfico de Informação

Um Sistema Geográfico de Informações (SGI) é um sistema baseado em computador, para adquirir, armazenar, combinar, analisar e recuperar informações codificadas de maneira espacial

(Tomlison and Boyle, 1981). As aplicações dos SGIs incluem planejamento urbano e regional, geologia, hidrologia e recursos agrícolas.

Num sistema típico, as informações de cartas topográficas e temáticas são digitalizadas (por uma mesa ou por um varredor a tambor) e combinados com imagens de satélite — classificadas ou não. As saídas do sistema incluem plotagem de áreas e produção de novas cartas e imagens, destacando as regiões e os temas de interesse. A flexibilidade de um SGI o torna extremamente atrativo, pois permitirá uma combinação entre informações provenientes de fontes distintas, sua utilização tanto poderá ser em sistemas para inventário de recursos naturais, quanto para análise de regiões específicas.

No INPE, desenvolve-se atualmente um projeto de construção de um SGI, baseado num microcomputador de fabricação nacional (Erthal et alii, 1984). Nesta configuração, o sistema se destina a análise de regiões localizadas, permitindo a combinação entre imagens de satélite, cartas topográficas e temáticas e mapas pontuais.

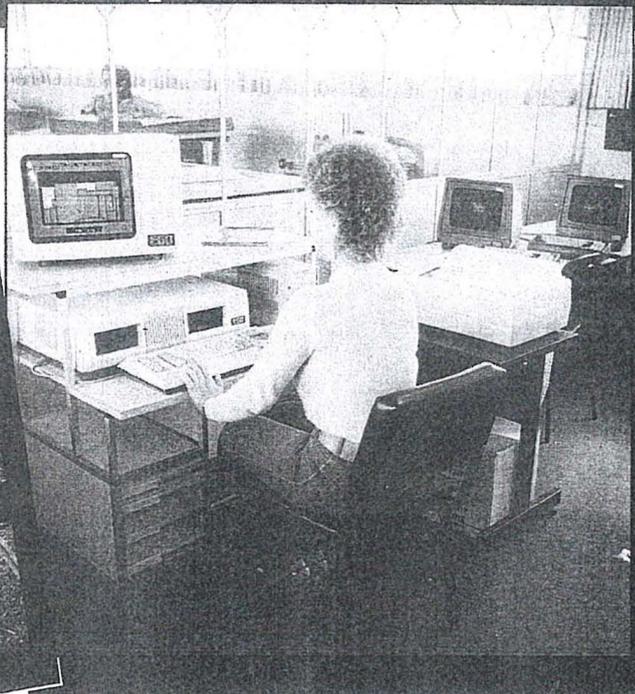
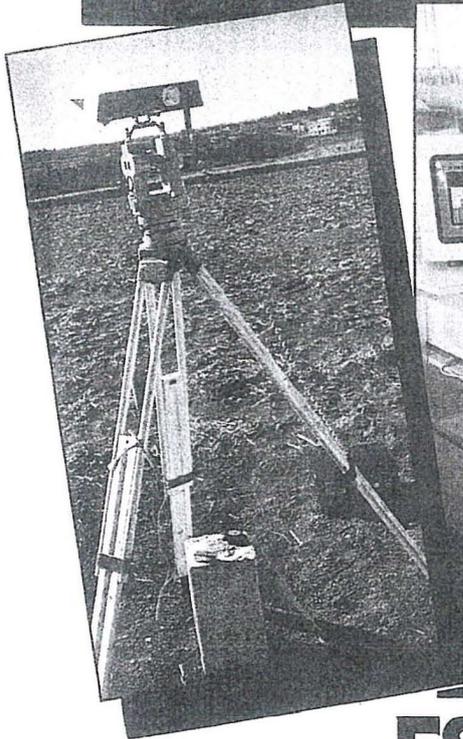
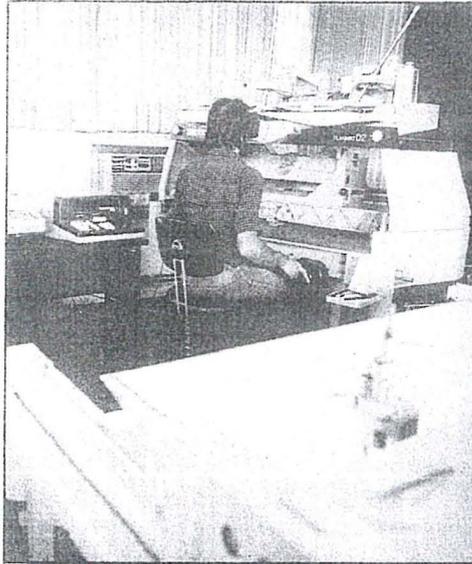
5. Comentários Finais

O grande potencial de utilização de imagens de satélite na cartografia não conflita com os métodos tradicionais, mas antes amplia as possibilidades. Em muitos casos, a repetitividade, o baixo custo e a disponibilidade destes dados deverão tornar possíveis aplicações hoje inviáveis.

Neste sentido, pode-se prever que, no futuro, as imagens de satélite poderão vir a ser um instrumento usual em aplicações cartográficas.

Referências Bibliográficas

- ANDRADE, L.A. "Metodologia para confecção de cartas temáticas para fins militares utilizando imagens LANDSAT TM". Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto, INPE, 1985.
- BAUDOIN, A. "La géométrie d'un enregistrement à balayage". In: CNES (org.), CARTOGRAPHIE SPATIALE DE LA TERRE, Toulouse, França. Toulouse, Centre National d'Études Spatiales, 1979. p. 315-354.
- CÂMARA NETO, G.; SOUZA, R.C.M.



ESTEIO. Há 15 anos voando em terra firme.

Levantamentos e mapeamentos aerofotogramétricos
Serviços geodésicos e topográficos
Mapeamentos cadastrais urbanos e rurais • Ortofotocartas
Bases cartográficas para projetos de engenharia
Projetos de engenharia para rodovias, ferrovias, aeroportos e saneamento



ENGENHARIA E AEROLEVANTAMENTOS S.A.

Rua Reinaldo Machado, 1151
Fone (041) 232-1833
Telex (041) 5412
80.000 Curitiba - PR

Rua Cardeal Câmara Araújo, 146
Fone (0482) 46-1833
83.100 São José - SC
(Grande Florianópolis)

Rua Teófilo Ottoni, 52
12º andar - conj. 1207
Fone (021) 233-4149
20.000 Rio de Janeiro - RJ

- "Um sistema para uso geral em processamento de imagens baseado em microcomputador". São José dos Campos, INPE, 1984 (INPE - 3415/PRE-681).
- CARON, R.H.; SIMON, K.W. "Attitude time-series estimator for rectification of spaceborne imagery" *Journal of Spacecraft*, 12(1): 27-32, Jan. 1975.
- ESCADA JR., J.B. "Geração de imagens com dados auxiliares registrados a imagens obtidas por Sensoriamento Remoto". Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada, INPE, São José dos Campos, 1985.
- ERTHAL, G.J.; OLIVEIRA, M.O.B.; DUTRA, L.V.; CÂMARA NETO, G.; SOUZA, R.C.M. "Um sistema geográfico de informação para uso com imagens de satélite". In: III Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Rio de Janeiro, 1984, São José dos Campos, INPE, 1985.
- FLEUTIAUX, B. "Corrections géométriques d'images". In: CNES (org.), CARTOGRAPHIE SPATIALE DE LA TERRE, Toulouse, 1979. Toulouse, CNES, 1979, p. 489-516.
- GUICHARD, H. "Utilization photogrammétrique et cartographique de SPOT". In: SEMAINES INTERNATIONALES DE PHOTOGRAMMÉTRIE, Stuttgart, RFA, 1983. Stuttgart, ISPRS, 1983.
- MASSON, D'AUTUME, G. "Corrélation numérique d'images quelconques, selon les lignes quasi-épolaires, par approximations successives. *Bulletin Société Française Photogrammétrique et Télédétection*, n° 95, p. 23-32, 1984.
- MITSUO II, F.A.; MASCARENHAS, N.D.A.; KONISHI, E.K. "Uma biblioteca de pontos de controle para imagens MSS LANDSAT". São José dos Campos, INPE, 1984 (INPE-3382/PRE-655).
- SILVA, A.J.F.M. "Modelo fotogramétrico para correção de imagens MSS LANDSAT". In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Rio de Janeiro, 1984.
- TOMLISON, R.; BOYLE, R. The state of development of systems for handling natural resources inventory data. *Cartographica*, 18(4): p. 65-95, 1981.