

## A UTILIZAÇÃO DE SATÉLITES EM ESTUDOS AMBIENTAIS

Roberto Rosa

Professor do Departamento de Geografia da UFU  
Mestre em Sensoriamento Remoto pelo INPE –  
São José dos Campos.

### RESUMO

*O aparecimento de satélites de observação da Terra, com diferentes possibilidades de imageamento, abre interessantes perspectivas nos estudos ambientais. O presente trabalho pretende discutir e apontar algumas direções desta tecnologia, apresentando os principais sistemas sensores em operação, bem como suas aplicações nos estudos do meio ambiente.*

### INTRODUÇÃO

O estudo de problemas ambientais de nosso planeta, a partir de plataformas orbitais, tomou grande impulso nos últimos anos, com o lançamento dos satélites da série LANDSAT (EUA) e recentemente do SPOT ESA – European Spacial Agency.

As dimensões apresentadas pelo território brasileiro exigem técnicas de grande eficácia para o mapeamento e controle dos recursos naturais.

O sensoriamento remoto ao nível orbital é apontado como um recurso de grande valia para a coleta de dados e capaz de fornecer informações rápidas e confiáveis.

Para conhecer e utilizar corretamente os seus recursos, o País necessita de um sistema de coleta de dados que apresente as seguintes características: obtenção de informação em tempo real, repetitividade, visão global e baixos custos. São exatamente estas as características dos satélites de aplicações; eles podem obter informações a respeito dos recursos naturais e acompanhar eficazmente as modificações ambientais.

### SENSORIAMENTO REMOTO

Sensoriamento remoto é o processo de se obter informações espectrais sobre um objeto sem contato físico com o mesmo. Diversos são os sistemas que poderiam ser chamados de sensores remotos. Contudo, este termo está associado, predominantemente, a sistemas que registram informações sobre variações no campo eletromagnético sobre os diversos alvos da Terra, seja com sensores no campo, em aviões ou em satélites. Este processo envolve coleta, processamento e análise da radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos da superfície.

A radiação solar refletida tem sido a forma de energia mais utilizada em sensoriamento remoto, embora a região do espectro eletromagnético correspondente ao infravermelho termal e às microondas sejam também utilizadas.

Ao entrar em contato com o alvo, a radiação eletromagnética pode ser absorvida, transmitida e/ou refletida. Estes três fenômenos ocorrem em função das propriedades físicas e químicas de cada alvo.

A vantagem das imagens obtidas por veículos espaciais consiste em possuírem escalas reduzidas, o que permite a observação de extensas áreas com pouco manuseio de material.

Em uma primeira aproximação, uma imagem pode ser considerada resultante da reflectância ou emitância dos alvos da cena; a tonalidade ou cor em cada ponto é determinada pela alteração espectral da radiação solar incidente em cada elemento da superfície da cena.

Diferentes objetos refletem diferentes quantidades de energia e em diferentes comprimentos de onda. Estas diferenças espectrais são registradas em uma imagem na forma de variações tonais de cores ou de densidade. Os sensores remotos buscam detectar e mostrar as diferenças em tonalidade ou cor entre objetos ou entre um objeto e o ambiente, sem as quais não haveria imagem identificável. Através da análise correta dessas imagens pode-se fazer o levantamento e o monitoramento ambiental completo.

### ÁREAS DE APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO

#### 1. Geologia

- a) Pesquisa mineral e energética – estudos

de depósitos minerais e petrolíferos, visando ao desenvolvimento de modelos de cunho prospectivo (ex: óleo e gás).

b) Mapeamento geológico – identificação de unidades litoestratigráficas e análises estruturais em diferentes escalas, para a definição de modelos evolutivos.

c) Geologia de engenharia e hidrologia.

d) Geologia ambiental.

## 2. Agricultura

Execução de projetos com finalidade de fornecer informações sobre a área plantada e produtividade de culturas agrícolas; avaliar e estimar danos causados por pragas, doenças e eventos como geadas e secas.

## 3. Floresta

Mapeamento de áreas de vegetação, identificação de espécies vegetais, gerenciamento e inventário florestal, estimativa de volume de madeira, avaliação e acompanhamento de áreas desmatadas, detecção e avaliação de danos causados por queimadas, pragas, etc.

## 4. Oceanografia

Avaliação da quantidade e da qualidade de água, do conteúdo de material em suspensão (sedimentos), da presença de clorofila, da temperatura, etc.

## 5. Análise Ambiental

a) Geomorfologia ambiental – identificação dos conjuntos de formas do relevo, erosão e equilíbrio de sistemas fluviais.

b) Recursos hídricos – manejo de bacias, qualidade e disponibilidade de água, batimetria de represas, assoreamento, etc.

c) Uso da terra – ocupação do solo.

d) Áreas urbanas – crescimento e uso do solo urbano.

## 6. Climatologia e Meteorologia

Previsão de tempo (geadas), determinação de perfis de temperatura, vapor de água, estimativa de precipitação, estimativa da radiação solar, etc.

## 7. Cartografia

a) Produção de cartas-imagem planimétricas.

b) Produção de cartas temáticas em diferentes escalas.

c) Atualização de cartas topográficas convencionais.

## SATÉLITES PARA ESTUDOS AMBIENTAIS

Os satélites de estudos ambientais fazem parte do grupo de satélites de sensoriamento remoto e monitoramento do meio ambiente. Dentre eles podem-se citar: LANDSAT, SPOT, TIROS-N e SMS/GOES. Os satélites da série LANDSAT e SPOT fazem levantamento de recursos naturais do solo e do subsolo, e os satélites TIROS-N e SMS/GOES fazem parte dos meteorológicos, destinados ao estudo da atmosfera.

### 1. LANDSATs

O sistema LANDSAT foi desenvolvido pela NASA objetivando a aquisição de dados espaciais, espectrais e temporais sobre a superfície terrestre, de formas global, sinóptica e repetitiva.

Lançados em 1972 (LANDSAT 1), 1975 (LANDSAT 2), 1978 (LANDSAT 3), 1982 (LANDSAT 4) e 1984 (LANDSAT 5), utilizam como satélite uma plataforma tipo NIMBUS, onde são instalados os sensores e os demais subsistemas destinados à gravação e transmissão de dados, medição e controle de atitude e temperatura, retransmissão, etc. A potência para funcionamento do sistema é conseguida através de painéis solares que convertem a energia solar radiante em elétrica.

Os satélites LANDSATs deslocam-se do norte para o sul, em órbita geocêntrica, circular, quase polar e heliossíncrona, isto é, o ângulo Sol-Terra-satélite permanece constante, o que garante condições semelhantes de iluminação, ao longo do ano, na área imageada.

#### 1.1. O LANDSAT 5

Lançado ao espaço em 1º de março de 1984, este satélite apresenta o tradicional sensor MSS (Multispectral Scanner System), com 4 bandas, mais um sensor TM (Thematic Mapper), com 7 bandas espectrais. As pesquisas para a construção deste sensor

iniciaram no final da década de 70, e os primeiros testes ao nível de simulação foram realizados em 1980, procurando-se definir a melhor combinação de número de bandas, as resoluções espacial e espectral que satisfizessem os interesses das diferentes áreas de aplicação.

O LANDSAT 5 significa o maior avanço no desenvolvimento de sistemas orbitais de coleta e processamento de dados altamente automatizados da superfície terrestre. O sistema como um todo é consideravelmente mais complexo que o dos LANDSATs anteriores e isto inclui desde mudanças na configuração externa do satélite até nas formas de retransmissão de dados, comunicação e controle de órbita.

Os dados digitais TM e MSS são transmitidos em tempo real via satélite TDRS (Tracking and Data Relay Satellite) para estações terrestres e então retransmitidos via satélite de comunicação doméstica – DOMSAT – para estações de processamento, onde são radiometricamente corrigidos e novamente retransmitidos via DOMSAT para o Earth Resources Observation Systems (EROS) para reprodução em formatos digitais e filmes e posterior distribuição aos usuários. A transmissão de dados TM e MSS do satélite LANDSAT 5 pode também ser feita diretamente para os países que possuam estações terrestres apropriadas de recepção, como é o caso do Brasil.

O satélite LANDSAT 5 opera a uma altitude nominal de 705 km em órbita circular quase polar, imageando a mesma área a cada 16 dias. O satélite cruza o equador do norte para o sul às 9:45h e no paralelo 34°, no extremo sul do Brasil, às 9:50h. Cada órbita gasta 98,9 minutos, sendo realizadas 14 órbitas por dia. Este satélite é o que se encontra em operação atualmente.

## 1.2. O Sensor THEMATIC MAPPER (TM)

O TM opera simultaneamente em sete bandas espectrais com um campo de visada instantânea (IFOV) ou resolução espacial equivalente a um quadrado no terreno de 30 x 30m, nas seis bandas do visível e do infravermelho refletido, e de 120 x 120m na banda termal.

O mecanismo de imageamento se baseia no princípio de técnica de imageamento de scanners multiespectrais lineares. A energia refletida da superfície dos objetos (radiância em  $\text{mw/cm}^2 \cdot \text{steradian}$ ) é coletada por um espelho móvel com face plana, montado com um ângulo de 45° sobre um eixo mecânico que imprime um movimento oscilatório ao espelho, de tal

forma que o solo é varrido em linhas perpendiculares à direção de deslocamento do satélite. O deslocamento do satélite permite o imageamento seqüencial de linhas da superfície do terreno.

A radiação coletada por este processo é dirigida para um espelho parabólico que a focaliza através de um telescópio sobre um conjunto de detectores orientados e dispostos num arranjo, de tal maneira que possam ser imageadas no terreno tantas linhas quanto for o número de detectores existentes por banda.

Para cada uma das quatro primeiras bandas, há 16 detectores de silício (Si) que operam a temperatura ambiente. Para as bandas 5 e 7 tem-se também, individualmente, 16 detectores de antimônio de índio (InSb) que são resfriados a temperatura abaixo de 0°C para se obter uma boa sensibilidade, enquanto que a banda 6 (termal) usa apenas 4 detectores de telureto de mercúrio-cádmio (HgCdTe). O arranjo completo dos detectores do TM é então uma matriz de 100 detectores. Desta forma, no TM, são imageadas simultaneamente 16 linhas por banda no terreno, ou seja, um segmento de área com uma largura de imageamento de 480m por 185km de extensão.

Para limitar e decompor a radiação total em intervalos espectrais correspondentes a cada banda, é colocado na frente dos detectores um conjunto de filtros espectrais. Ao incidir sobre os detectores, a radiação os sensibiliza fazendo com que seja produzido um sinal elétrico de intensidade proporcional à energia incidente, o qual é então ampliado por um circuito eletrônico e convertido de analógico para digital e transmitido aos satélites TDRS para retransmissão às estações terrestres, ou transmitidos diretamente a elas.

## 1.3. O Sensor MULTISPECTRAL SCANNER SYSTEM (MSS)

O subsistema MSS é um imageador multiespectral que usa um espelho oscilante para varrer continuamente a superfície da Terra numa direção perpendicular à direção de vôo. Seis linhas são varridas simultaneamente em cada uma das quatro faixas espectrais (4, 5, 6 e 7) para cada ciclo do espelho. O movimento da espaçonave faz com que as linhas de varredura avancem na direção da trajetória. A radiação é sentida, simultaneamente, por um conjunto de 6 detectores para cada uma das quatro faixas espectrais.

O sistema MSS dos satélites LANDSAT detecta radiação proveniente de uma área, na superfície terrestre, de 79 x 79m e os dados são formados como se as medidas fossem feitas de uma área de 56m, na

direção da linha de varredura, por 79m, na direção da órbita.

#### 1.4. A Imagem digital

A imagem digital é formada pela conversão do sinal analógico medido pelo sensor, em uma representação digital que possa ser armazenada numa fita magnética compatível com o computador, para posterior processamento em computadores. Ela é, desta forma, uma representação numérica quantizada dos valores de radiância correspondentes a cada pequena área unitária imageada no terreno (pixel). Estes valores digitais são normalmente referidos como níveis de cinza, número digital ou ainda valores de brilho (percepção visual do mais claro ou mais escuro). Somente valores inteiros ou discretos são assumidos.

Os números digitais podem ser dispostos numa forma matricial. Além das dimensões espaciais e brilho, que representam o conjunto de dados que compõem uma imagem, ela tem ainda dimensões espectrais e temporais, desde que uma cena possa ser observada em várias bandas espectrais em diferentes datas. Portanto, uma imagem digital é uma matriz multidimensional das várias dimensões que representam uma cena. Os índices das linhas e colunas da matriz da imagem digital identificam as coordenadas espaciais X e Y de cada elemento da área imageada no terreno (pixel) e o valor numérico de cada elemento da matriz identifica o brilho daquela área. Quanto maior for o número de elementos da matriz, maior será a resolução

espacial (no caso do TM é de 30 x 30m para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 e de 120 x 120m para a banda 6; no MSS é de 79 x 79m para todas as bandas) e, quanto maior for o intervalo total dos valores discretos de níveis de cinza, maior será a resolução radiométrica (no TM vai de zero a 255 níveis de cinza e no MSS vai de zero a 63).

Esta forma de representação numérica das imagens permite a aplicação de uma grande variedade de técnicas e análises de processamentos por computadores, convenientes ao tratamento do enorme volume de dados contidos em cada imagem.

#### 1.5. Principais características

- a) Órbita:
  - circular a 705km
  - nodo descendente: 9:45h
  - ciclo orbital: 16 dias
  - número de passagens diárias: 14
  - período: 98,9 min
- b) Sensores:
  - dois tipos de sensores: MSS (Multi-spectral Scanner System) e o TM (Thematic Mapper)
  - varredura: 185km
- c) Tamanho do pixel (resolução):
  - MSS: 79 x 79m
  - TM: 30 x 30m
- d) Canais (bandas) espectrais:

MSS		
Banda	Intervalo Espectral	Aplicação
4	0,5 – 0,6 $\mu\text{m}$ (G)	Uso do solo e mapeamento da vegetação
5	0,6 – 0,7 $\mu\text{m}$ (R)	Diferenciação de espécies vegetais
6	0,7 – 0,8 $\mu\text{m}$ (IR)	Delineamentos de corpos d'água e geomorfologia
7	0,8 – 1,1 $\mu\text{m}$ (IR)	Delineamentos de corpos d'água e geomorfologia (mais usada)

TM		
Banda	Intervalo Espectral	Aplicação
1	0,45 – 0,52 $\mu\text{m}$ (B)	Estudos de sedimentos na água
2	0,52 – 0,60 $\mu\text{m}$ (G)	Mapeamento de vegetação
3	0,63 – 0,69 $\mu\text{m}$ (R)	Diferenciação de espécies vegetais
4	0,76 – 0,90 $\mu\text{m}$ (IR)	Delineamentos de corpos d'água e geomorfologia
5	1,55 – 1,75 $\mu\text{m}$ (IR)	Uso do solo
6	10,4 – 12,5 $\mu\text{m}$ (IR) (Termal)	Propriedades termais do solo
7	2,08 – 2,35 $\mu\text{m}$ (IR)	Identificação de minerais

e) Produtos:

MSS

- imagem em papel (preto e branco) escalas: 1:1.000.000, 1:500.000, 1:250.000
- imagem em composição colorida
- transparências negativas e positivas
- fitas CCT's

TM

- imagens em papel (preto e branco) escalas: 1:1.000.000, 1:500.000, 1:250.000 e 1:100.000
- imagens em composição colorida
- transparências negativas e positivas
- fitas CCT's

## 2. SPOT

O programa SPOT foi planejado como um sistema operacional e comercial. Estabelecido pelo governo francês em 1978, com a participação da Suécia e da Bélgica, o programa é gerenciado pelo Centro Nacional de Estudos Espaciais – CNES, que é o responsável pelo desenvolvimento do programa e operação dos satélites. O SPOT 1 foi lançado em fevereiro de 1986 e o SPOT 2 está em fase de construção. Planos estão sendo feitos para o lançamento do SPOT 3 e 4, para assegurar a continuação dos serviços.

Dois sensores idênticos (HRV – High Resolution Visible) estão a bordo do satélite e podem ser ativados independentemente. Cada instrumento tem uma faixa de varredura de 60km. Quando os dois instrumentos operam em zonas adjacentes, a área total coberta é de 117km.

O SPOT opera em dois modos: multiespectral e pancromático. No modo multiespectral, as observações são feitas em três bandas espectrais e, no pancromático, em uma única banda.

Uma das características do SPOT é prover o imageamento fora do nadir. O instrumento pode ser deslocado para os lados (leste e oeste), de 0 a 27°, permitindo a obtenção de imagens dentro de uma faixa de 950km de largura, centrada na órbita do satélite. Esta técnica permite uma rápida capacidade de verificação em áreas específicas. Por exemplo, no equador, a mesma área pode ser observada, em média, a cada 3,7 dias.

Outra vantagem deste satélite é a obtenção de pares estereoscópicos pela combinação de 2 imagens da mesma zona, obtidas durante órbitas diferentes com diferentes ângulos de observação.

### 2.1. Principais características

a) Órbita:

- circular a 832km
- nodo descendente: 10:39h
- ciclo orbital: 26 dias

b) Sensores:

- dois instrumentos (HRV) idênticos
- capacidade de apontamento: 27° (leste e oeste), fora do plano orbital
- varredura: 60km cada instrumento, com observação vertical

c) Tamanho do pixel (resolução):

- 10 x 10m no modo pancromático
- 20 x 20m no modo multiespectral

d) Canais (bandas) espectrais:

- pancromático: 0,51 a 0,73  $\mu\text{m}$
- multiespectral: 0,50 a 0,59  $\mu\text{m}$   
0,61 a 0,68  $\mu\text{m}$   
0,79 a 0,89  $\mu\text{m}$

- e) Produtos:
- imagem em papel, escalas: 1:400.000 a 1:100.000
  - transparências negativas e positivas
  - fitas CCT's

- conteúdo de vapor d'água na atmosfera
- conteúdo de ozônio

#### SEM

- medição do fluxo de prótons, de partículas alfa, de elétrons solares incidentes na Terra

### 3. TIROS-N

Os satélites meteorológicos da série TIROS-N (Television and Infra-red Observation Satellite) são de órbita polar baixa (840km) e coletam dados atmosféricos globais, especialmente sobre as regiões polares. Estes satélites são também chamados de heliosíncronos, por manterem constante a sua posição angular relativa ao Sol. São colocados em órbita circular polar, com período em torno de 102 min. A observação da Terra a partir destes satélites é feita sobre uma mesma região a cada seis horas. Estes satélites são de responsabilidade operacional da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).

#### 3.1. Principais características

- a) Órbita:
- circular a 840km
  - ciclo orbital: 6h
  - período: 102min
- b) Sensores:
- AVHRR - radiômetro avançado de resolução muito alta
  - TOVS - sondador vertical operacional TIROS
  - SEM - monitor de ambiente espacial
- c) Aplicação:
- AVHRR
- discriminação de nuvens
  - distribuição de nuvens
  - separação terra-água
  - extensão da cobertura de neve e gelo
  - indicação do começo da fusão da neve e gelo
  - determinação das temperaturas superficiais dos mares e oceanos
- TOVS
- levantamento do perfil vertical da temperatura da atmosfera

### 4. SMS/GOES

Os Estados Unidos lançaram o primeiro satélite Meteorológico Síncrono - SMS, para operação experimental, em 1974, que deram origem aos satélites Geoestacionários Operacionais do Meio-Ambiente - GOES. Os GOES Este, Central e Oeste estão situados a 75°W, 107°W e 135°W, respectivamente.

#### 4.1. Principais características

- a) Órbita:
- altitude: 36.000km sobre o plano do equador
- b) Sensores:
- SEM - monitor de ambiente espacial
  - VAS - VISSR Atmospheric Sounder - sondador atmosférico no espectro visível e infravermelho
- c) Aplicação:
- SEM: realiza medidas do campo magnético, do fluxo de partículas energéticas e de emissões de raio X solar
- VAS/VISSR: cálculo dos perfis de temperatura e do conteúdo de vapor d'água

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho pretendeu-se apresentar, ainda que sucintamente, os principais satélites de sensoriamento remoto propícios aos estudos ambientais. De posse desses conhecimentos, podem-se vislumbrar vários outros campos de utilização desse recurso que se encontra disponível à comunidade.

Vários outros satélites de sensoriamento remoto estão programados para serem lançados em futuro não muito distante; entre eles, destaca-se um satélite brasileiro previsto para o início dos anos 90.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALISSON, L.J. et alii. **Remoto sensing of the atmospheric from environmental satellites.** Report nº X-901-77-132. NASA Goddard Space Flight Center, 1977.

CHEVREL, M.A. Presentation of the french satellite for earth observation. In: ANNUAL MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY, 45, Washington, D.C., 1979.

REEVES, R.G. et alii. **Manual of remoto sensing.** Falls church, American Society of Photogrammetry, 1975.

SLATER, P.N. **Remote sensing optics and optical systems.** Committee on Remote Sensing and Optical Sciences Center University of Arizona, Tucson, 1980.