

A - Conceitos Básicos do Sensoriamento Remoto

1. Bases físicas do sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto é definido por Lillesand & Kiefer (1987) como “... a ciência e arte de receber informações sobre um objeto, uma área ou fenômeno pela análise dos dados obtidos de uma maneira tal que não haja contato direto com este objeto, esta área ou este fenômeno“. Para se obter estas informações, usa-se um meio que, neste caso, é a radiação eletromagnética, supondo que esta possa chegar diretamente ao sensor. Isto, no entanto, não é possível em todas partes do espectro eletromagnético, porque a transmissividade atmosférica é variável para os diversos comprimentos de onda.

1.1. O espectro electromagnético

A radiação eletromagnética propaga-se, no vácuo, a uma velocidade de 300000 m/s. A intensidade da radiação varia senoidalmente e está correlacionada diretamente com o comprimento de onda e a frequência. O **comprimento de onda** (λ) é definido pela distância média entre dois pontos semelhantes da onda, como, por exemplo, dois mínimos ou dois máximos. A **frequência** (**f**) é o valor recíproco do período das ondulações, ou seja, do intervalo de tempo entre dois pontos consecutivos de mesma intensidade. A fonte principal de radiação natural é o Sol, que emite, a uma temperatura de cerca de 6000 K, grandes quantidades de energia em um espectro contínuo.

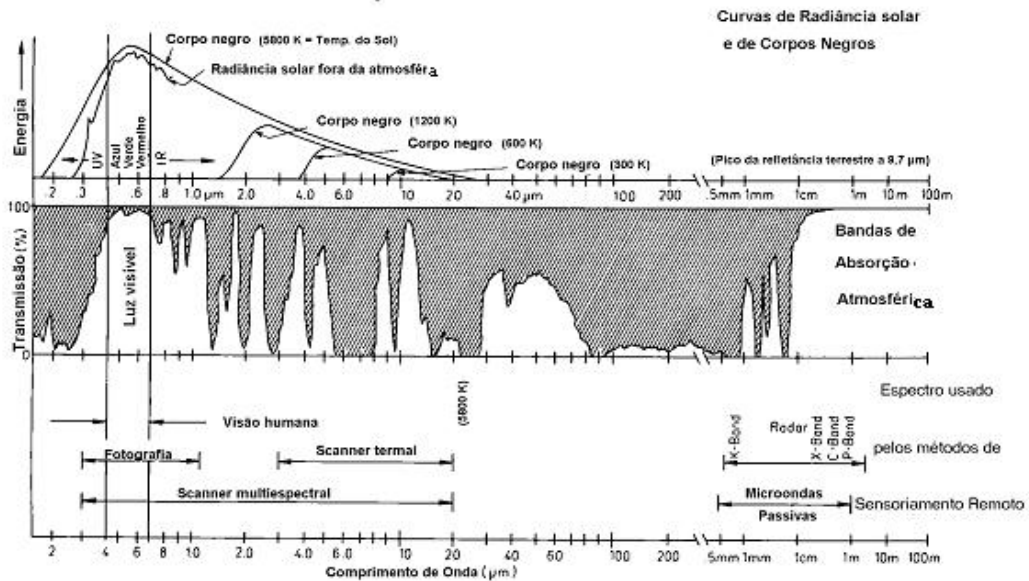


Figura A-1: O espectro electromagnético, a transmissividade atmosférica e os comprimentos de onda usados em sensoriamento remoto (Fonte: Kronberg, 1984, p. 4).

No que se refere às técnicas de sensoriamento remoto por sistemas passivos, a faixa do espectro mais utilizada estende-se do ultravioleta (UV) até o infravermelho afastado (FIR, “far infra red”). A intensidade máxima da radiação solar corresponde a $\lambda = 0,47 \mu\text{m}$, a partir do qual a diminuição energética na direção do UV se passa mais rápido, enquanto a diminuição na direção do FIR é marcada por uma curva irregular (*Figura A-1*).

A radiação natural forma uma espectro contínuo, que contém comprimentos de ondas de milésimos de nanômetros até dezenas de quilômetros. As técnicas de sensoriamento remoto por sistemas passivos, contudo, utilizam somente o intervalo de 0,2 até 12,5 μm , dividido em bandas espectrais.

A banda espectral do visível (VIS) representa só um pequeno intervalo entre 0,4 μm e 0,7 μm , seguida pelo infravermelho (infrared, IR), que chega até 1000 μm . O IR pode ser dividido entre infravermelho próximo ou reflexivo (“near infrared”, NIR), de 0,7 μm a 3 μm e o infravermelho afastado ou emissivo (“far infrared”, FIR), de 3 μm a 1000 μm . O NIR comporta-se como a luz visível, porque também é provocado pela reflexão solar; enquanto o FIR é caracterizado pela radiação térmica reemitida pela Terra.

1.2. Influência atmosférica

Durante o seu caminho através da atmosfera, a radiação solar é atenuada pelos gases e aerossóis que a compõem. Alguns gases (oxigênio, ozônio, vapor d’água, gás carbônico) absorvem a energia eletromagnética em determinadas bandas do espectro, de maneira que a atmosfera é intransmissível à radiação nestas bandas (*Tabela 1*).

Tabela 1. Bandas de absorção da atmosfera terrestre (Fonte: Lillesand & Kiefer, 1979, p. 390).

Gás	Bandas de absorção
O ₂ (oxigênio)	0 - 0,3 μm
O ₃ (ozônio)	5,0 - 9,5 μm
H ₂ O (vapor d’água)	0,7 - 0,8 μm , 3,3 μm , 5,5 - 7,5 μm , 11,9 μm
CO ₂ (gás carbônico)	2,7 - 2,9 μm , 4,1 - 4,2 μm , 9,4 μm , 12,6 μm , 14,0 μm

O grau de transmissão, ou transmissividade, representa a capacidade das ondas eletromagnéticas em penetrarem a atmosfera. As faixas de comprimento de onda para as quais a atmosfera parece transmissível são definidas como janelas atmosféricas. Elas têm grande importância, porque possibilitam a reflexão da radiação pela Terra e podem ser aproveitadas pelos sistemas sensores passivos. Além de toda a banda do visível, as janelas mais importantes localizam-se no IR: são os intervalos entre 0,7 e 2,5 μm , de 3,5 até 4,0 μm e de 8,0 até 12,0 μm .

1.3. Características espectrais de alvos selecionados

A determinação da natureza dos alvos pelos métodos de sensoriamento remoto é baseada no fato de que diferentes materiais são caracterizados por reflectâncias próprias em cada banda do espectro. A **reflectância**, ou fator de reflexão, é proporcional à razão

da radiação refletida pela radiação incidente. Quando as respostas espectrais de vários materiais são conhecidas, as propriedades de alvos desconhecidos podem ser determinadas pela comparação das respostas espectrais desses alvos com os dados de referência.

1.3.1. Característica de reflexão e espectro de vegetação

A determinação e a diferenciação da vegetação pelos métodos de sensoriamento remoto é possível no intervalo de 0,4 até 2,5 μm , pois neste intervalo as folhas são caracterizadas por comportamentos específicos de reflexão, absorção e transmissão. A Figura A-2 apresenta o comportamento típico de uma folha verde.

No VIS, o comportamento da reflexão é determinado pela clorofila, cuja absorção encontra-se no intervalo da luz azul (0,4 - 0,5 μm) e da luz vermelha (0,6 - 0,7 μm); enquanto reflete no intervalo da luz verde (0,5 - 0,6 μm). A radiação incidente atravessa, quase sem perda, a cutícula e a epiderme, onde as radiações correspondentes ao vermelho e ao azul são absorvidas pelos pigmentos do mesófilo, assim como pelos carotenóides, xantófilas, e antocianidas, que causam uma reflexão característica baixa nos comprimentos de onda supracitados. As clorofilas A e B regulam o comportamento espectral da vegetação e o fazem de maneira mais significativa em comparação com outros pigmentos. A clorofila absorve a luz verde só em pequena quantidade, por isso a reflectância é maior no intervalo da luz verde, o que é responsável pela cor verde das folhas para a visão humana.

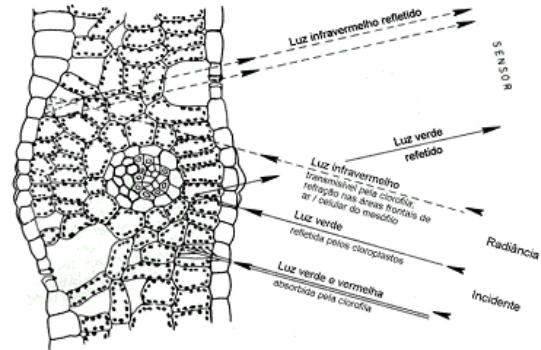


Figura A-2: Refletividade espectral de uma folha verde e a capacidade de absorção de água e refletividade, absorvidade e transmissividade numa folha verde para a radiação no VIS e NIR (à direita)

No NIR (0,7 - 1,3 μm), dependendo do tipo de planta, a radiação é refletida em uma proporção de 30 a 70% dos raios incidentes, ainda que as superfícies das folhas e os pigmentos sejam transparentes para esses comprimentos de onda. Todavia, os sistemas pigmentais das plantas perdem a capacidade de absorver fótons nesse espectro, que é caracterizado por uma subida acentuada da curva de reflexão. O mínimo de reflexão neste comprimento de onda é causado pela mudança do índice de refração nas áreas frontais de ar/célula do mesófilo.

Nos comprimentos de ondas acima de 1,3 μm , o conteúdo de água das folhas influencia a interação com a radiação. A água dentro da folha absorve especialmente nas bandas em

torno de 1,45 μm e 1,96 μm . Esta influência aumenta com o conteúdo de água. Uma folha verde caracteriza-se, nestas bandas, pela reflexão semelhante a de uma película de água. Por isso, estes comprimentos de onda, prestam-se à determinação do conteúdo hídrico das folhas. Folhas com conteúdo hídrico reduzido são caracterizadas por uma maior reflexão. A curva espectral depende do tipo de planta e, mais ainda, altera-se em função da estrutura e da organização celular.

1.3.2. Refletividade de solos

As curvas espectrais dos solos sem vegetação apresentam, no intervalo espectral correspondente ao azul, valores de reflexão baixos, os quais aumentam continuamente em direção da luz vermelha, do NIR e do MIR (“mid infrared”). Por isso, as características de solos puros podem ser analisadas nestas bandas. Os parâmetros constantes, como tipo de mineral, granulação e conteúdo de material orgânico, assim como os parâmetros variáveis, como umidade do solo e rugosidade de superfície, influenciam a resposta espectral. Deve-se ressaltar a existência de elevada correlação entre os parâmetros constantes e os variáveis.

Os óxidos e os hidróxidos de ferro reduzem a reflexão na banda do azul e aumentam no intervalo espectral do verde ao NIR. Os valores de reflexão da hematita diferem dessa regra: a reflexão diminui no NIR e especialmente no MIR (Figura A-3).

Uma grande parte das substâncias orgânicas reduz a refletividade dos solos, especialmente nos comprimentos de onda acima de 0,6 μm .

Uma alta umidade do solo é caracterizada, em todos os comprimentos de onda, por valores baixos de reflexão, pois o índice de refração nas áreas frontais da interface água/partícula é menor que o índice de refração nessas áreas em solos secos. Em aerofotos e imagens de satélite, os solos úmidos são caracterizados por tons de cinza mais escuros, o que significa uma refletividade menor.

No entender de Wittje (1979), as faixas de absorção da água (1,4 μm e 1,9 μm) servem para determinar a quantidade de água no solo. As bandas de absorção da água nas curvas espectrais dos solos úmidos são diferentes daquelas nas curvas dos mesmos solos no estado seco (Figura A-4).

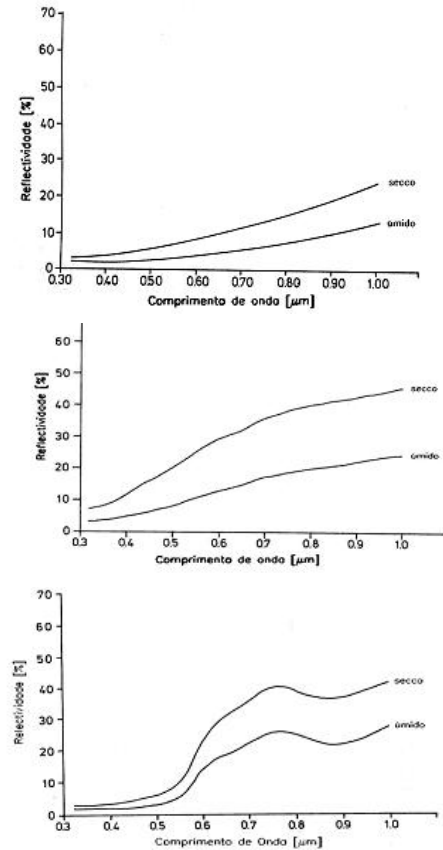


Figura A-3: Refletividade de um solo Chernozêmico (em cima), um solo Argila (no centro) e um solo Laterítico (abaixo) no VIS e NIR em função da umidade (Fonte:Kronberg, 1984, p.38; Condit, 1970)

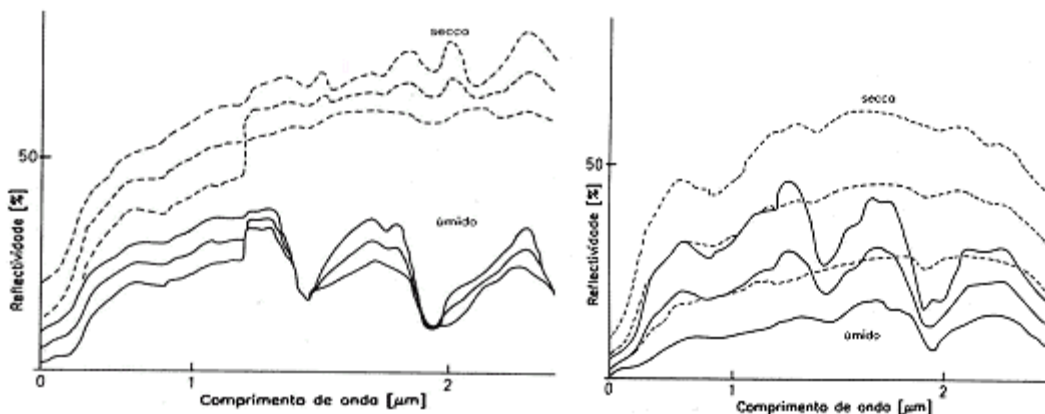


Figura A-4: Refletividade de um solo argiloso (a esquerda) e um solo de areia (a direita) no VIS, NIR e MIR em dependência da umidade (Fonte: Kronberg, 1984, p. 50; Lowe, 1969).

1.3.3. Refletividade de minerais e rochas

As rochas apresentam comportamentos espectrais semelhantes aos dos solos, o que não surpreende, uma vez que estes são produtos de alterações daquelas. Um dos elementos de maior diferenciação entre as curvas de rochas e de solos é a presença de matéria orgânica nestes. A *Tabela 2* apresenta as faixas espectrais utilizadas na detecção da presença de óxidos de ferro ou argila em função de suas correspondentes bandas de absorção.

Tabela 2 Regiões do espectro mais adequadas ao estudo de propriedades de minerais e rochas.

Região do espectro	Aplicação
0,44 - 0,55 μm	Detecção de ferro: várias bandas de absorção de óxido de ferro
0,80 - 1,00 μm	Detecção de Fe ³⁺ (0,92 μm) e Fe ²⁺ (1,0 μm)
1,60 μm	Identificação de zonas de alteração hidrotermal ricas em argila
2,17 μm	Detecção de minerais de argila
2,20 μm	Detecção de minerais de argila
2,74 μm	Detecção de minerais com hidroxila

1.3.4. Refletividade de áreas urbanas

As áreas urbanas são caracterizadas por uma aparência heterogênea, causada pelo fato de a variação interna dessas áreas ser muito grande, devido à sua própria natureza. As áreas residenciais, por exemplo, são formadas por materiais variados, tais como concreto, asfalto, vidro, ferro e vegetação. Há que se considerar, ainda, a influência das sombras

causadas por edificações altas. Por isso, a refletividade de cidades só pode ser descrita de uma forma generalizada.

A refletividade é influenciada pelas formas, materiais e tipos de cobertura diferentes. A detecção de áreas urbanizadas representa um fator limitante para aplicação de classificações automáticas, pois a informação espectral pode ser parecida com a de solos puros ou de áreas agrícolas, os quais são caracterizados por um aumento regular da reflexão no intervalo do UV até o NIR. O aumento de reflexão causado pelas áreas urbanas não parece tão regular como aquele provocado pela vegetação ou pelos solos.

2. Resolução das imagens de sensoriamento remoto

Em sensoriamento remoto o termo resolução desdobra-se em três categorias independentes: a resolução espacial, a resolução espectral e a resolução radiométrica.

2.1. Resolução espacial

A resolução espacial é determinada pela capacidade do detector em distinguir objetos na superfície terrestre. Em geral, a resolução espacial de um detector é expressa em termos do seu campo instantâneo de visada ou IFOV (“instantaneous field of view”). O IFOV define a área do terreno focalizada a uma dada altitude pelo instrumento sensor. De uma forma simplificada, o IFOV representa o tamanho do pixel. A resolução geométrica de um detector é determinada pela resolução do ângulo sólido do IFOV, em mrad (milirad), e pela altitude do sistema sensor que é expressa em metros na superfície terreno. Como exemplo, um IFOV de 1 mrad (1 mrad = 0,057°) significa que o elemento de terreno abrangido pelo detector, numa altitude nadir de 1000 m, tem o tamanho de 1 m.

2.2. Resolução espectral

A resolução espectral é um conceito inerente às imagens multiespectrais de sensoriamento remoto. É definida pelo número de bandas espectrais de um sistema sensor e pela amplitude do intervalo de comprimento de onda de cada banda. O sistema óptico (espelhos e lentes) decide em que partes do espectro o sensor será capaz de receber a radiação refletida ou emitida pela superfície terrestre e o tipo do detector é responsável pela sensibilidade e pelo intervalo espectral de cada banda. A quantização das medidas radiométricas torna-se possível quando o sensor carrega dados de referência internos e calibrados.

2.3. Resolução radiométrica

A resolução radiométrica é dada pelo número de valores digitais representando níveis de cinza, usados para expressar os dados coletados pelo sensor. Quanto maior o número de valores, maior é a resolução radiométrica. A *Figura A-5* mostra a comparação entre duas imagens. Uma de 2 níveis de cinza (1 bit) e outra com 32 níveis de cinza (5 bits).

O número de níveis de cinza é comumente expresso em função do número de dígitos binários (bits) necessários para armazenar, em forma digital, o valor do nível máximo. O valor em bits é sempre uma potência de 2. Assim, 5 bits significam $2^5 = 32$ níveis de cinza.

Os satélites LANDSAT e SPOT têm resolução radiométrica de 8 bits, o que significa o registro de imagens em 256 níveis de cinza.



Figura A-5: Comparação da resolução radiométrica de uma imagem com 1 bit (a esquerda) e a mesma imagem com uma resolução radiométrica de 5 bits (Fonte: Crósta, 1993, p. 27).

3. Sistemas de satélites

As radiações do espectro visível e do infravermelho próximo podem ser registradas pelos sistemas passivos do sensoriamento remoto com métodos fotográficos, de TV e de varredura ("scanners"). Esses sistemas registram a radiação eletromagnética que é refletida ou emitida pelos alvos terrestres. Enquanto os métodos fotográficos e de TV são limitados ao intervalo de 0,4 a 0,9 μm , a técnica de varredura permite o registro de imagens nos comprimentos de onda do ultravioleta até o infravermelho térmico (0,3 - 14,0 μm).

A radiação refletida e/ou emitida pela superfície terrestre atravessa o sistema óptico do "scanner" e é focalizada sobre os detectores. Estes transformam a radiação em sinais elétricos que são gravados em fita magnética. Um "scanner" multiespectral pode gravar sinais provenientes de vários intervalos de comprimento de onda. A *Tabela 3* mostra alguns dos satélites de observação terrestre, dos primeiros lançamentos até os atuais.

	UV (μm)	VIS	Infravermelho (μm)	Microwaves	X	C	S	L
Wavelengths	0,2	0,4	0,7 0,9 1,1	3,0 5,0 8 10 12 14	0,5 0,7 1,0	2,0 3,0 5,0	7,0 10	15 20 30
LANDSAT 1/2 1972 / 75			3 Kanäle 0,475 - 0,63 μm (40 m)					
			4 Kanäle 0,5 - 1,1 μm (80 m)					
SKYLAB 1972 / 73 / 74		4 Kanäle CIR, G	0,4 - 0,9 μm (15 or 30 m)					
		12 Kanäle 0,4 - 2,35 μm	(80 m)					
METEOSAT 1,2 1977 / 81			0,5 - 0,9 μm (2500 m)	5,1 - 7,0 μm			10,5 - 12,5 μm (5000 m)	
HCMH 1978			0,55 - 1,1 μm (500 m)				10,5 - 12,5 μm (500 m)	
LANDSAT 3 1978			1 Kanal = 0,5 - 0,75 μm (40 m)					
			4 Kanäle = 0,5 - 1,1 μm (75 m)				10,5 - 12,5 μm (240 m)	
NIMBUS - 7 1978			5 Kanäle 0,433 - 0,80 μm (800 m)				4 Kanäle 10,69 - 3,70 GHz (20 - 60 km)	
							10,5 - 12,5 μm (600 m)	
SEASAT - 1 1978			0,52 - 0,70 μm (2000 - 5000 m)				MS-1R - Radiometer	
							8m MR	
							5 Kanäle 6,6 - 37,66 GHz (16 - 100 km)	
							125 m	
SIR A 1981								L - Kanal (40 m)
SPACELAB 1 1983								2 Frequ. MW - Scatterometer's
LANDSAT 4-4' 1982 / 84			0,5 - 1,1 μm (30 m) TM*					
			MSS 4 Kanäle (80 m)					
							10,4 - 12,5 μm (120 m)	
							* TM 7 Kanäle: 0,45 - 0,52; 0,52 - 0,60 μm (30 m)	
							0,63 - 0,69; 0,76 - 0,90 μm	
							1,55 - 1,75; 2,08 - 2,35 μm	
MOMS 01 1983 MOMS 01A 1984			2 Kanäle 0,575 - 0,625 μm (20 m)					
			0,825 - 0,975 μm					
SIR B 1984								L - Kanal (40 m)
SPOT 1985			3 Kanäle 0,5 - 0,9 μm (20 m)					
			1 Kanal (10 m)					
ERS - 1 1986								C - Kanal (30 or 100 m)
STEREO-MOMS 1986								
MOMS 02 1986 (?)			4 Kanäle betw. 0,575 - 2,35 μm (20 m)					

Tabela 3 Lista de alguns satélites de observação terrestre operacionais (Fonte: Bodechtel).

3.1 LANDSAT

LANDSAT 1, 2 e 3

O primeiro satélite da série LANDSAT, antigamente ERTS (Earth Resource Technology Satellite), foi lançado em julho de 1972 para experiências em processamento de imagens de satélites e, especialmente, para interpretação das informações multispectrais sobre aspectos agrícolas, florestais, oceanográficos e geológicos. A escolha das bandas e da resolução espacial foi feita em função das exigências multidisciplinares.

O sensor Multispectral Scanner (MSS) dos satélites LANDSAT 1 a 3 registraram, até 1983, mais de 1,3 milhões de imagens. Cada imagem cobre uma área de 185 a 185 km, em 3 ou 4 bandas diferentes (Figura A-6).

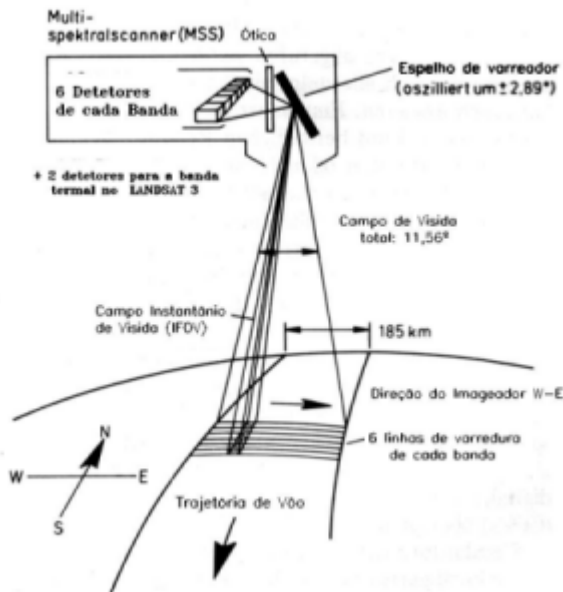


Figura A-6: Esquema de funcionamento do sensor MSS (Fonte: NASA LANDSAT Data Handbook).

No LANDSAT 3 foi instalado mais um canal na faixa do infra vermelho térmico (TIR), que possui uma resolução espacial de 240 m em nadir.

A configuração da órbita dos satélites LANDSAT 1, 2 e 3 foi estabelecida de tal modo que a cada 18 dias eles passassem sobre uma mesma região da superfície terrestre (Figura A-7). O ângulo de inclinação da órbita do satélite em relação ao plano do equador de 99° 11' fazia com que descrevesse uma órbita quase polar em torno da Terra, garantindo o imageamento entre as latitudes de 81° N e S.

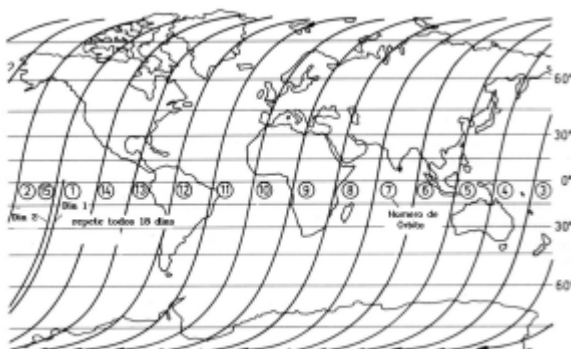


Figura A-7: As órbitas diárias dos satélites LANDSAT 1,2 e 3.

Esta inclinação também garantia que a órbita fosse heliosíncrona. A altitude da órbita era de 917 km e sua duração era de 101 min.

Outra característica importante é que o plano de órbita desloca-se em torno da Terra à mesma velocidade do deslocamento da Terra em relação ao Sol. Desta forma, cada vez

que o satélite cruza o equador em órbita descendente, o faz no mesmo horário local, durante todo o ano. O horário médio de passagem dos satélites da série LANDSAT 1 a 3 pelo equador é 9:30 h, variando conforme a longitude.

LANDSAT 4 e 5

O LANDSAT 4 foi lançado em julho de 1982 e faz parte da segunda geração dos sistemas passivos de alta resolução. Em fevereiro de 1983 o canal de transferência dos dados deixou de ser usado. Por isso, o LANDSAT 4 foi substituído pelo idêntico LANDSAT 5, que foi lançado em 1º de março de 1984 e continua sendo operacional até hoje. Em setembro 1994, a NASA lançou o LANDSAT 6, mas o satélite caiu e nunca entrou em fase operacional. O lançamento do LANDSAT 7 foi em 1999.

Os LANDSAT 4 e 5 são dotados com dois sistemas de "scanners": o antigo MSS, para fazer comparações das imagens dos LANDSAT 1 a 3 e um "scanner" mais desenvolvido, o Thematic Mapper (TM) (Figura A-8).

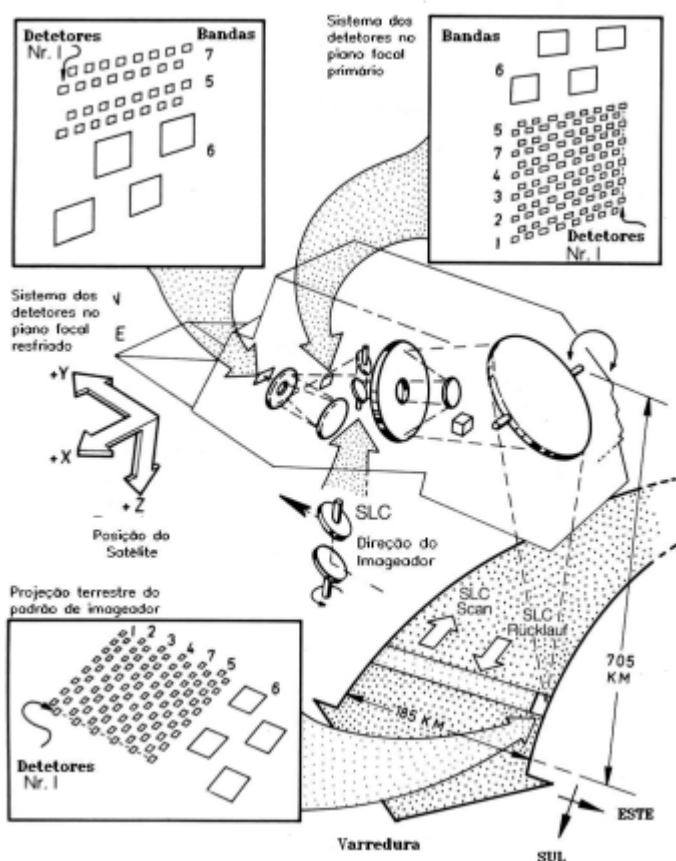


Figura A-8: Esquema de aquisição de imagens do sensor LANDSAT TM.

Em comparação com o MSS, o TM é caracterizado por uma resolução espacial de 30 m e de 120 m, no canal térmico (no MSS, 80 m e 240m) e um intervalo menor entre seus canais. O LANDSAT 5 tem uma órbita quase polar e heliosíncrona, numa altitude média de 705,3 km e uma inclinação de 98,2º. Para percorrer uma órbita, o LANDSAT 5 precisa

de 99 minutos, o que significa que faz, em um dia, 14,5 órbitas. Em 16 dias, o LANDSAT 5 cobre toda a Terra. A passagem pelo equador ocorre às 9:45 h (hora local). Suas imagens apresentam uma resolução radiométrica de 8 bits (256 níveis de cinza).

Landsat 7

Em 1999 foi lançado o Landsat 7, um satélite que não só substitui o Landsat 5 já no final da vida útil dele, mas que trouxe uma série de benefícios adicionais com a substituição do scanner TM pelo ETM+ ?Enhanced Thematic Plus? .

- Gravação da banda 6 (infra-vermelho termal) em duas bandas, com **ganho** alto e ganho baixo (resolução espacial 60 m)
- Nova banda pancromática com 15 metros de resolução espacial no espectro de [0.52 – 0.90 μm], sincronizada às bandas multi-espectrais
- Maior precisão radiométrica absoluta
- Geometria de imageamento melhorada significativamente, permitindo um georreferenciamento aproximado apenas com os dados efeméricos com precisão de ~ 100 a 200 metros.

As demais características como cobertura total e órbitas são quase idênticas com as do Landsat 5 (inclusive as faixas de comprimento de onda nos canais multi-espectrais), permitindo a fácil integração de dados Landsat 7 com dados dos satélites anteriores.

3.2. SPOT

O CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) desenvolveu o satélite SPOT e o lançou em fevereiro de 1986. O SPOT transporta dois instrumentos sensores: o sensor multiespectral HRV (High Resolution Visible) e o sensor pancromático (PAN). O HRV registra imagens em 3 bandas espectrais (0,50 - 0,59 μm ; 0,61 - 0,68 μm ; 0,79 - 0,89 μm), com resolução espacial de 20 m; enquanto o sensor pancromático registra imagens em uma banda que abrange todo espectro visível (0,40 - 0,73 μm), com resolução espacial de 10 m. A altitude da órbita varia entre 815 e 829 km com uma inclinação de 98,7°.

A duração da órbita é de 101 minutos, o que resulta em 14,25 órbitas por dia. A passagem do satélite pelo equador ocorre às 10:30 h (hora local) numa órbita descendente (*Figura A-9*). O sensor pancromático utiliza 3000 detectores para cada linha de varredura e o sensor multiespectral, 6000 detectores (Kronberg, 1995). Uma limitação crítica na operacionalidade dos satélites de sensoriamento remoto é a baixa frequência de passagens. No entanto, o SPOT possibilitou o aumento na frequência de imageamento de 26 para 5 dias, já que foi implementada a capacidade de movimentação do espelho de varredura (*Figura A-10*).

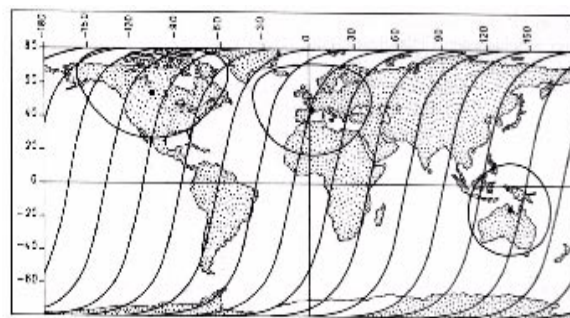


Figura A-9 As órbitas diárias do satélite SPOT

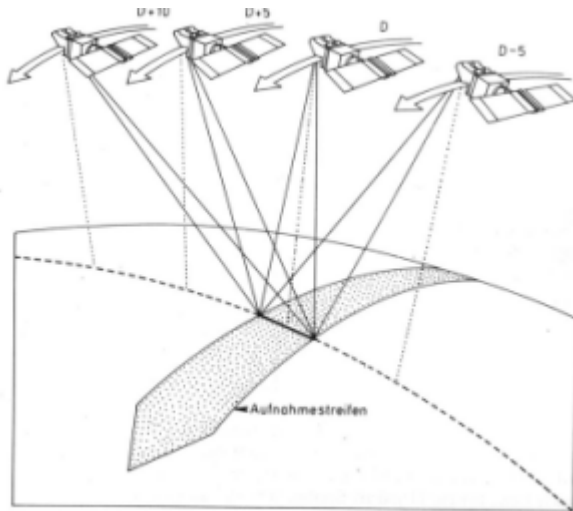


Figura A-10: A taxa de repetição do sistema SPOT HRV (Fonte:Kronberg, 1985, p.143).

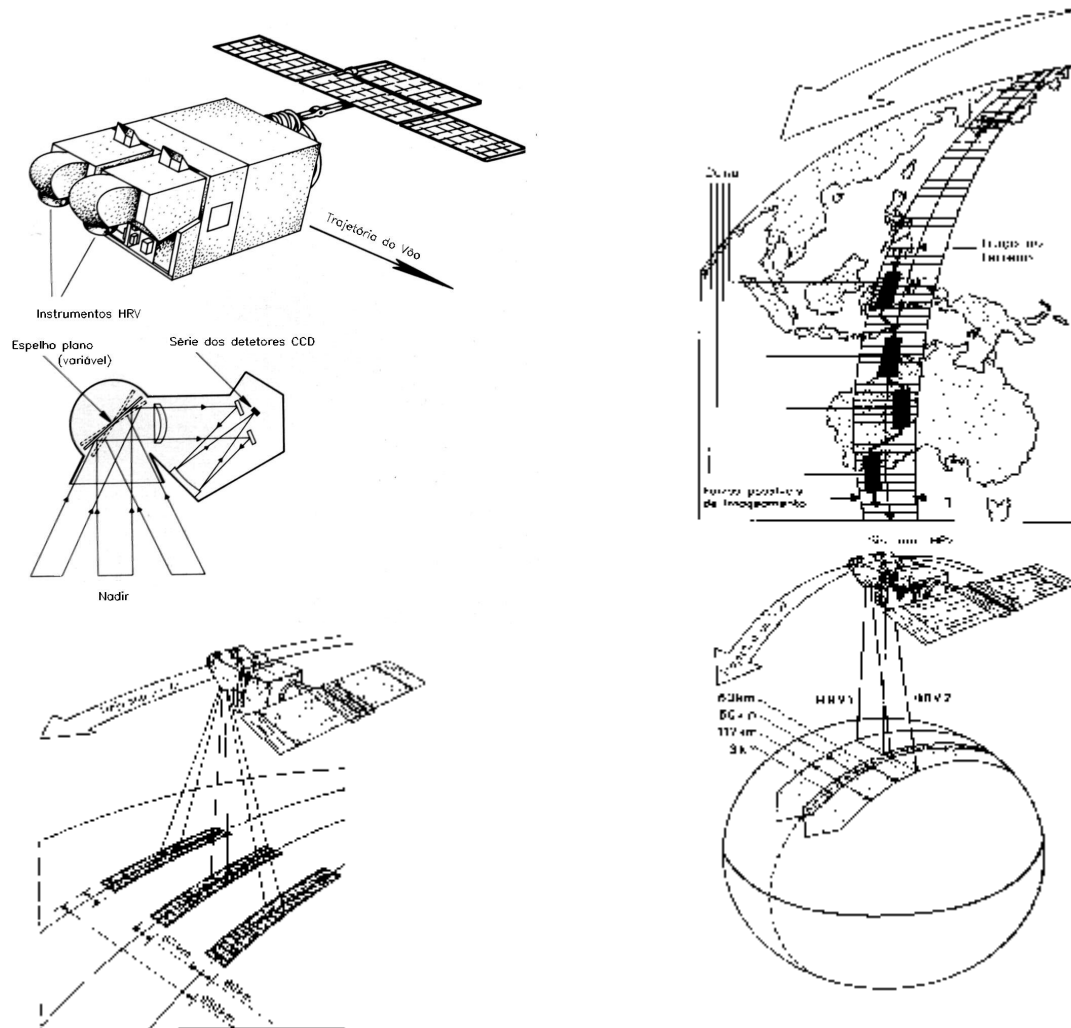


Figura A-11: Funcionamento do espelho variável (à esquerda acima) e as faixas possíveis de imageamento (esquerda abaixo e à direita) (Fonte: Kronbera.. 1985. p. 143)

A partir do centro de controle terrestre, a posição do espelho de varredura pode ser mudada em um ângulo de até 27°; nos dois sentidos. Assim, o SPOT possibilita que se observe uma faixa de terreno com largura de 475 km e diminua, com esta função, a frequência de imageamento de 26 para 5 dias (*Figura A-11*).

A largura de faixa imageada varia de 60 km, na visada nadir por uma das câmaras HRV, a 80 km, numa visada inclinada em 27°;. Outra importante possibilidade de aplicação da visada oblíqua é a aquisição de pares estereoscópicos (*Figura A-12*).

O satélite SPOT HRV possui vários subsistemas com as seguintes funções:

1. controle da órbita
2. estabilização em três eixos
3. suprimento de energia
4. manutenção das funções de telemetria e transmissão
5. recepção de comandos
6. monitoramento e programação da carga útil através de um computador de bordo com memória armazenável, controlada pela estação terrestre

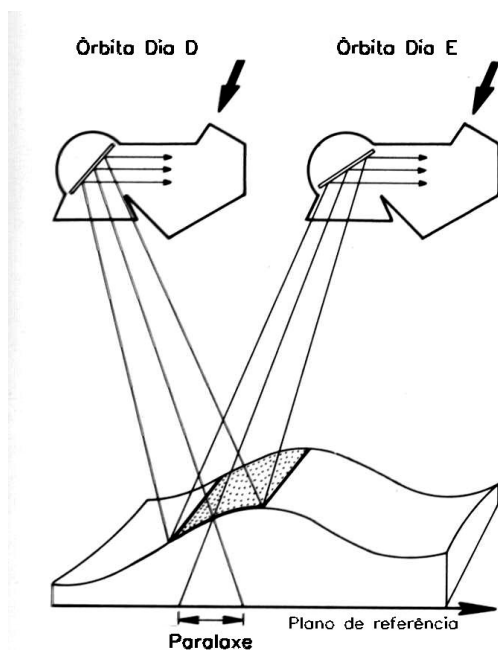


Figura A-12: Aquisição de pares estereoscópicos. (Fonte: Kronberg, 1985, p.143)

3.2.1 SPOT 5

Em 2002, a francesa CNES lançou o SPOT 5, para satisfazer ainda mais os usuários nas aplicações de cartografia, telecomunicações, planejamento urbano, defesa, agricultura, etc. , também imageando em 4 bandas espectrais.

As imagens do SPOT 5 vem com maior resolução, dado que o sensor possui agora um novo instrumento, o HRG (High-Resolution Geometric), que possibilita imagens de maior resolução na banda pancromática (5 metros) e no modo "supermode" (2,5 metros).

Características técnicas do sensor SPOT 5:

- Peso de 3.000 Kg
- Órbita na altitude de 832 km
- Precisão de localização da órbita e então dos produtos corrigidos sistematicamente de 50 m, graças a um sensor de estrela a bordo do SPOT 5 (contra 350 m anteriormente)
- Memória "Solid State" de 90 Gb.
- Downlink para as estações de 2 canais de 50 Mbps, garantido a transmissão de 5 canais de imageamento simultaneamente (2 Instrumentos HRS, 2 Instrumentos HRG e Vegetação).
- 2 Instrumentos HRG (High-Resolution Geometric) que imageiam com 5 m de resolução em Pancromático e 2.5 metros em "supermode". Cada um dos dois instrumentos recobre uma faixa de 60 Km no solo, dentro de um corredor potencial de visibilidade de ± 420 km. Da mesma forma que os sensores dos antecessores do SPOT 5, os instrumentos HRG podem imagear igualmente em modo multiespectral em 4 bandas (faixa espectral da luz verde, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio).
- 2 instrumentos HRS (High-Resolution Stereoscopic) que fornecerão cobertura estereoscópica de amplas regiões, adquiridas pelos 2 telescópios que formam o conjunto, sendo um deles com visada dianteira e outro com visada traseira, e capazes de fornecer dados em estereoscopia adquiridos numa mesma órbita a alguns segundos de intervalo somente, e que uma vez processados, resultarão em Modelos Numéricos de Terreno de 10 m de precisão altimétrica, servindo a inúmeras e novas aplicações que exigem precisão altimétrica, tal como cartografia, base de dados militares e civis, telecomunicações (telefonia celular em particular), simuladores de voo e sistemas de aproximação aeroportuária e para Sistemas de Informação Geográfica. O Instrumento HRS foi desenvolvido no quadro de uma parceria inovadora entre o CNES, ASTRIUM e a própria SPOT IMAGE.
- 5 m e 2.5 m de resolução em P&B no modo Pancromático, contra 10m anteriormente.
- 10 m de resolução em bandas multiespectrais contra 20 m anteriormente.
- Cobertura de 60 km x 60 km ou 60 km x 120 km quando os 2 instrumentos HRG serão usados simultaneamente.
- Precisão absoluta de localização melhor que 50m sem uso de pontos de controle.

3.3. KVR-1000

A câmara de aerolevantamento KVR-1000 é instalada nas plataformas dos satélites russos da série KOSMOS, que giram a uma altitude de 220 km em torno Terra. Cada imagem cobre uma área de 40 por 40 km. As imagens registradas pelo KVR apresentam uma resolução de 2m e são das mais detalhadas que podem ser utilizadas no meio civil. Elas podem ser ampliadas até a escala 1:10.000 e são muito úteis para aplicações de planeamento urbano. Normalmente, o distribuidor russo, a companhia SOVINFORM SPUTNIK, fornece estas imagens na forma de cópias fotográficas, que podem ser transferidas para a forma digital por meio de um "scanner".

3.4. IKONOS

IKONOS, lançado em setembro de 1999, é o primeiro satélite com imagens de alta resolução (em formato digital) comercialmente disponíveis. Com a sua órbita numa altitude de 680 km o tempo de revista é de aproximadamente 3 dias para imagens pancromáticas, e 1,5 dias para multi-espectrais, e as imagens são disponíveis em faixas de 11km x 100 km até 11km x 1000 km . As resoluções de 1 m na banda pancromática (entre 0.45 e 0.90 μm) e 4 m nas quatro bandas multi-espectrais ([0.45 – 0.52], [0.52 – 0.60], [0.63 – 0.69], [0.76 – 0.90]) abrem um leque de aplicações até então só viáveis com aerofotos. Com o lançamento previsto de vários outros sensores comerciais do mesmo tipo nos próximos meses espera-se também uma redução significativa do ainda alto custo deste tipo de imagens.

3.5. SATÉLITE TERRA

O lançamento do satélite TERRA (formalmente conhecido como EOS-AM) marca uma nova era do monitoramento da atmosfera, oceanos e continentes da Terra fornecendo observações globais e esclarecimentos científicos da mudança da cobertura do solo, produtividade global, variação e mudança do clima, riscos naturais e o ozônio da atmosfera.

O TERRA opera numa órbita polar e síncrona com o Sol com uma inclinação de aproximadamente 98,2 graus, com período orbital de 98,88 minutos e hora do cruzamento na descendente às 10:30 am. A altitude média é de 705 Km e a velocidade no solo é 6,7 km/seg. A distância entre órbitas adjacentes é de 172 km e o ciclo de recorrência é de 16 dias no equador (233 órbitas).

Os cinco instrumentos do TERRA servirão para os seguintes propósitos:

- Fornecem medidas globais de cada estação climática do sistema da Terra, incluindo funções críticas como produtividade biológica do solo e oceanos, neve e gelo, temperatura da superfície, nuvens, vapor d'água e cobertura do solo;
- Aperfeiçoam nossa habilidade de detectar impactos humanos no sistema da Terra e no clima, identificam o impacto da atividade humana no clima e prevê mudanças no clima utilizando as novas observações globais;

- Ajudam a desenvolver tecnologias para prever desastres, caracterização, redução de riscos de grandes incêndios, vulcões, enchentes e secas;
- Disponibilizam monitoramento a longo-prazo da mudança do clima global e do ambiente.

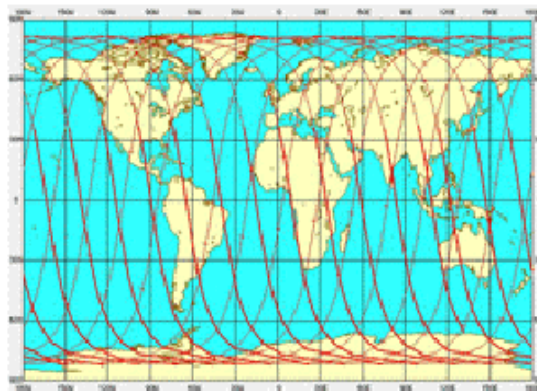
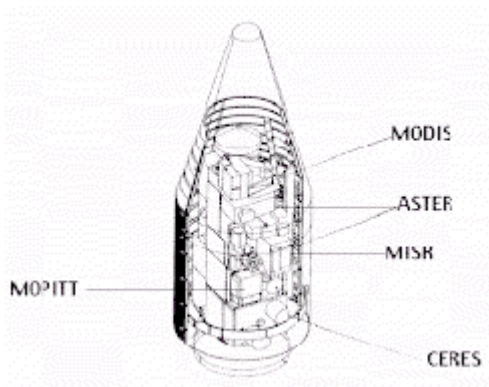


Figura A-14: Mapa da órbita do satélite Terra.

Veremos agora instrumentos do satélite TERRA:

3.5.1. MODIS

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) é um dos cinco instrumentos do satélite TERRA. O MODIS visualiza toda a superfície da Terra a cada 1-2 dias, com uma varredura de 2.330 km (swath), adquirindo dados em 36 bandas espectrais distintas. Consequentemente, MODIS aperfeiçoa muito o patrimônio do NOAA Radiômetro Avançado de Alta Resolução (AVHRR) e rastreia um amplo conjunto de sinais vitais da Terra melhor do que qualquer outro sensor no TERRA.

Por exemplo, o sensor mede o percentual da superfície dos planetas que estão cobertas por nuvens quase todos os dias. Esta ampla cobertura espacial irá permitir que o sensor MODIS, juntamente com MISR e CERES, determinem o impacto das nuvens e aerossóis no orçamento de energia da Terra. O sensor possui um canal inovador (centralizado em 1,375 microns) para detecção de nuvens do tipo cirrus (principalmente as mais "leves"), as quais acredita-se que contribuam para o aquecimento por refração de calor emitido pela superfície.

Reciprocamente, acúmulos de nuvens e aerossóis são considerados a possuírem um efeito refrescante na superfície da Terra por reflectância e absorção da luz do Sol. Este efeito no clima irá provar algo significativo nesta longa corrida? MODIS, juntamente com MISR e CERES, irá nos ajudar a responder esta questão.

MODIS avalia:

- Temperatura da superfície (solo e oceano) e detecção de incêndio;
- Cor do oceano (sedimento, fitoplâncton);
- Mapas da vegetação global e detecção de mudanças;
- Características da nuvem;
- Concentrações de aerossóis e propriedades;

Características do MODIS	
Alcance Espectral	0.4-14.4 μm
Cobertura Espectral	$\pm 55^\circ$, 2330 km em fileira (scans contínuos em nadir no equador)
Resolução Espacial	250 m (2 bandas), 500 m (5 bandas), 1000 m (29 bandas) em nadir
Ciclo Obrigatório	100 %
Taxa de Dados	6.2 Mbps (avg), 10.8 Mbps (dia), 2.5 Mbps (noite)
Massa	274 Kg
Força	162.5 W (avg para uma órbita), 168.5 W (pico)



Figura A-15: Essa imagem true-color do MODIS foi adquirida em 19/10/2000 sobre a região Central do Brasil suficientemente grande para mostrar a diversidade da superfície

MODIS é ideal para monitoramento de mudanças em larga escala na biosfera e irá constituir novas introspecções no funcionamento do ciclo global do carbono. Enquanto nenhum sensor de satélite pode medir diretamente as concentrações de dióxido de carbono na atmosfera, MODIS pode medir a atividade fotossintética do solo e plantas marinhas (fitoplâncton) para fornecer melhores estimativas de quanto está sendo absorvido e utilizado na produção das plantas. As medidas de temperatura da superfície, em conjunto com as medidas da biosfera (ambos pelo MODIS) estão ajudando cientistas a rastrear as origens e ocorrências de locais com concentração mínima de dióxido de carbono em relação a mudanças do clima. Quase todos os dias, pelo globo inteiro, os sensores monitoram as mudanças no uso do solo, desta forma complementando e estendendo a herança no mapeamento deixada pelo satélite Landsat. MODIS permite também mapear a área estendida por neve e gelo trazidos por uma tempestade de inverno e/ou temperaturas frias. O sensor observa as "ondas verdes" que vasculham através de continentes quando o inverno passa para primavera e a vegetação floresce. Isto detecta onde e quando desastres estão por ocorrer, como erupções vulcânicas, enchentes, tempestades severas, secas e incêndios, e irá esperançosamente salvar pessoas a escaparem destes acontecimentos. As bandas do MODIS são particularmente sensíveis a incêndios. Elas podem distinguir chamas de brasas e fornecer estimativas melhores de uma quantidade de aerossóis e gases de fogo dispersos na atmosfera.

MODIS detecta mudanças na população de fitoplâncton do Pacífico que devem sinalizar o famoso El Niño/La Niña bem antes da sua chegada. Juntando a temperatura da superfície do mar e as medidas das cores do oceano, MODIS irá observar os impactos que o El Niño e La Niña exercem nas plantas marinhas microscópicas.



Figura A-16: Foto do MODIS

3.5.2. MISR

A maioria dos instrumentos de satélite observam apenas abaixo do mesmo, ou a cerca do topo do planeta. Para entender completamente o clima da Terra e determinar como ele deve estar mudando, nós precisamos saber a quantidade de luz do Sol que é dispersa em direções diferentes em condições naturais. MISR (Multi-angle Imaging Spectro-Radiometer) é um novo tipo de instrumento desenvolvido para suprir a necessidade - visualizar a Terra com câmeras direcionadas para nove ângulos diferentes. Uma câmera está direcionada voltada para nadir, e as outras fornecem visões de ângulos anteriores e posteriores na superfície da Terra de 26.1, 45.6, 60.0 e 70.5 graus. Como o instrumento sobrevoa por cima, cada região da superfície da Terra são sucessivamente capturadas para imagens pelas nove câmeras em cada um dos quatro comprimentos de onda (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo). Para aperfeiçoar nossa compreensão do destino da luz do Sol no ambiente da Terra, os dados do MISR podem distinguir diferentes tipos de nuvens, partículas aerossol e superfícies. MISR monitora mensalmente, sazonalmente e a longo prazo fornecendo:

- a quantidade e o tipo de partículas de aerossol da atmosfera, incluindo aquelas formadas por fontes naturais e por atividades humanas;
- a quantidade, os tipos e altura das nuvens;
- a distribuição da cobertura da superfície do solo, incluindo a estrutura da cobertura da vegetação.

Estes dados serão utilizados para investigar a influência do aerossol, nuvens e propriedades da superfície no orçamento da radiação refletida e o clima. Exemplos espaciais são adquiridos a cada 275 m. Num período de 7 minutos, numa imensa fileira de 360 km da Terra são visualizadas em nove ângulos. Tem-se prestado uma atenção especial para o fornecimento da calibração radiométrica relativa e com precisão absoluta utilizando um equipamento a bordo que consiste de uma placa difusora do Sol e diversos tipos de fotodiódios. Para complementar o esforço da calibração a bordo, um programa de validação das medidas envolve instrumentos de campo como o PARABOLA III, que automaticamente faz o scan do céu e terra em muitos ângulos, e uma câmera satélite multi-ângular (AirMISR). Uma cobertura global pelo MISR baseado no espaço é adquirida a cada 9 dias no equador. O tempo de vida nominal da missão é de 6 anos.

Características do MISR	
Largura da Fileira	360 km
Bandas espectrais	446, 558, 672, 866 nm
Tamanho do pixel cross-track	50% (somente ao dia)
Velocidade dos dados	3.3 Mbps (média), 9.0 Mbps (pico)
Massa	149 kg
Força	72 W (média), 135 W (pico)

3.5.3. ASTER

ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) obtém imagens de alta resolução (15 a 90 m) da Terra nas regiões dos espectros visíveis, near-infrared (VNIR), shortwave-infrared (SWIR) e thermal infrared (TIR).

O ASTER é constituído de três subsistemas de telescópio distintos: VNIR, SWIR e TIR. Possui alta resolução espacial, espectral e radiométrica, radiômetro de imagens de 14 bandas. Separação espectral é completada através de filtros de passagem de banda discretos e dicróticos. Cada sub-sistema opera numa região espectral diferente, possuem seu próprio telescópio(s). O instrumento ASTER opera por um tempo limitado em partes do dia e noite de uma órbita. A configuração completa (todas as bandas em stereo plus) coleta dados numa média de 8 minutos por órbita. Configuração reduzida (bandas limitadas, ganhos diferentes, etc) pode ser implementada como solicitação por investigadores.

O ASTER é o instrumento de resolução espacial mais alta do satélite EOS AM-1 e o único que não adquire dados continuamente. Os produtos de dados do ASTER incluem:

- radiações e reflexões espectrais da superfície da Terra;
- temperatura da superfície e emissividades;
- mapas digitais de elevação de imagens stereo;
- mapas da vegetação e da composição da superfície;
- consequência das nuvens, gelo do mar e gelo polar;
- observação de desastres naturais (vulcões, etc).

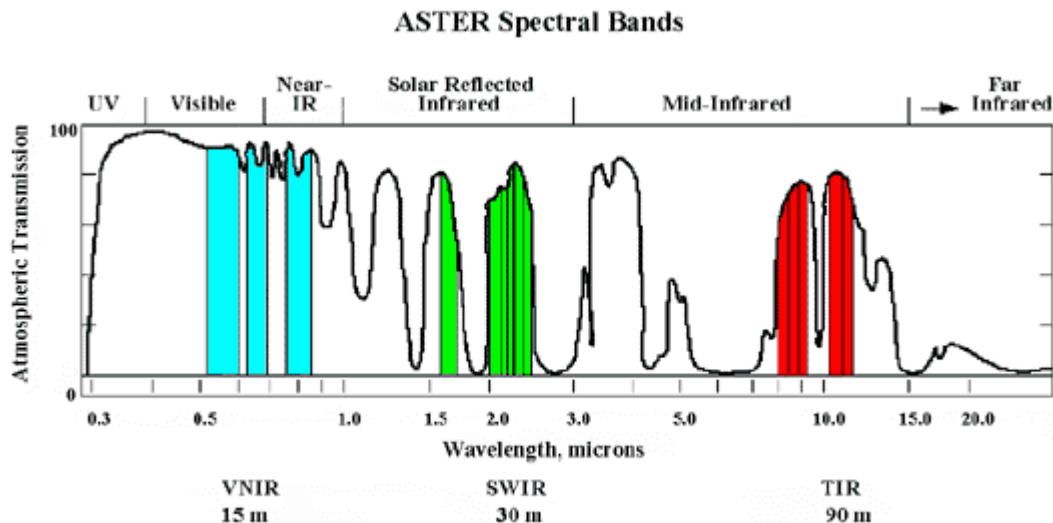


Figura A – 17: Bandas Espectrais do Aster

Características ASTER	
Alcance Espectral	
VNIR	0.5-0.9 μm
SWIR	1.6-2.5 μm
TIR	8-12 μm
Resolução Espacial	15 m (VNIR: 3 bandas), 30 m (SWIR: 6 bandas), 90 m (TIR: 5 bandas)
Ciclo Obrigatório	8%
Taxa de Dados	8.3 Mbps (média), 89.2 Mbps (pico)
Massa	450 Kg
Força	525 W (média), 761 W (pico)

3.5.4. CERES

CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System) é constituído de dois radiômetros para scanear bandas largas que irá medir o balanço da radiação da Terra e fornecer estimativas das propriedades das nuvens para avaliar seu papel nos fluxos radioativos da superfície até o topo da atmosfera.

CERES é um radiômetro escaneador de banda larga com precisão e exatidão de medidas radiométricas extremamente altas. O satélite EOS AM-1 carrega dois instrumentos idênticos: um opera em modo scan cross-track e outro em modo scan biaxial. O modo cross-track continua as medições da missão Earth Radiation Budget Experiment (ERBE) como também da missão Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), enquanto modo scan biaxial fornece novas informações do fluxo angular que prova a exatidão dos modelos angulares utilizados para derivar o balanço da radiação da Terra.

Os dois scanners CERES operam continuamente nas porções do dia e noite de uma órbita. No modo de scan cross-track a calibração ocorre a cada duas semanas. No modo de scan biaxial a calibração também ocorre a cada duas semanas e os scans curtos para evitar o Sol ocorrem duas vezes por órbita.

Os dados do CERES são utilizados para:

- estudar o "amadurecimento" da radiação das nuvens e retornos;
- desenvolver uma base de observação dos fluxos radioativos do céu limpo;
- determinar a entrada de radiação para atmosfera e modelos energéticos oceânicos;
- validar modelos gerais de circulação;
- aumentar o alcance estendido numérico das previsões do tempo.

Características do CERES	
Bandas Espectrais	Onda Curta: 0.3-5.0 μm Onda Longa: 8-12 μm Total: 0.3 to >200 μm
Resolução Espacial em nadir	20 km
Ciclo Obrigatório	100%
Velocidade de Dados	20 kbps (dois instrumentos)
Massa	90 kg (dois instrumentos)
Força	95 W (dois instrumentos)

3.5.5. MOPPIT

MOPITT (Measurements Of Pollution In The Troposphere) é um instrumento desenvolvido para melhorar nosso conhecimento da baixa atmosfera e observar especialmente como ela interage com a terra e a biosfera oceânica. O foco específico está na distribuição, transporte, fontes e na distribuição do monóxido de carbono e metano na troposfera. MOPITT é um scanner radiômetro empregando um espectroscópio da correlação de gás para medir e radiação infra-vermelha refletida e absorver três bandas de monóxido de carbono e metano. O instrumento modula a amostra da densidade do gás pela mudança do comprimento ou da pressão da amostra do gás no curso óptico do instrumento.



Figura A – 18: Sensor MOPITT

O MOPITT tem uma resolução espacial de 22Km em nadir e uma fileira larga de 640Km. MOPITT opera continuamente, fornecendo dados científicos em porções do dia e noite de uma órbita.

Calibragem, usando à bordo corpos pretos e uma visão espacial, ocorrendo a cada scan normal. Uma longa calibração ocorre mensalmente e fornece uma calibração numa temperatura elevada dos corpos pretos.

Os dados do MOPITT serão utilizados para:

- medir e modelar a concentração do monóxido de carbono e metano na troposfera;
- obter contorno do monóxido de carbono com resolução de 22 Km na horizontal e 3Km na vertical, com uma precisão de 10% ;
- medir a coluna de metano na troposfera com resolução de 22 Km e uma precisão melhor do que 10%;
- gerar mapas globais da distribuição de monóxido de carbono e metano, e fornecer o aumento do conhecimento da troposfera química;

3.6. SATÉLITE AQUA

O foco do projeto Aqua (formalmente conhecido como EOS-PM) é o estudo multi-disciplinar dos processos inter-relacionados da Terra (atmosfera, oceanos e superfície do solo) e seus relacionamentos com as mudanças do sistema da Terra.

A acentuada pesquisa das mudanças globais com os dados do instrumento Aqua inclui: temperatura da atmosfera e perfil da umidade, nuvens, precipitação e balanço radioativo; neve terrestre e gelo oceânico; temperatura da superfície do mar e produção do oceano; umidade do terreno; e melhoramento da previsão numérica do tempo.



Figura A – 19: Satélite Aqua

Estatísticas:

- Peso: 6.468 libras;
- Força: 4.444 watts na média orbital;
- Tamanho: 260 polegadas de comprimento e 102 polegadas de diâmetro;
- Objetivo do tempo de vida da missão: 6 anos;

Órbita:

- Polar e síncrona com o Sol;
- Altitude: 705 km nominais;
- Inclinação: 98,2 +/- 0,1 graus;
- Nodo ascendente: 13:30 +/- 15 minutos;
- Período: 98,8 minutos;

Uma propriedade interessante do AQUA é que ele passa no Equador 6 horas depois do TERRA. E possui os mesmos instrumentos MODIS e CERES, do TERRA. AQUA possui, ainda, os instrumentos AMSR/E - Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS , AMSU - Advanced Microwave Sounding Unit , AIRS - Atmospheric Infrared Sounder e o HSB - Humidity Sounder for Brazil , que é um instrumento brasileiro , um sensor de umidade aplicado à previsão do tempo, sendo o HSB concebido de um acordo entre a Agência Espacial Brasileira e a NASA. Com o HSB, vai ser permitido ter previsões de tempo mais precisas, dado que o hemisfério sul é coberto por oceanos, dificultando análises precisas.

3.7. QUICKBIRD

Este sensor, lançado recentemente pela empresa Digital Globe, é o que produz as imagens de mais alta resolução em âmbito civil, tendo uma resolução de 61 centímetros na banda pancromática e de 2,44 metros na multiespectral. Ele também é composto de 4 bandas espectrais, sendo uma que opera no Infravermelho. Abaixo, algumas características do sensor:

Função	Característica
Altitude	Cerca de 450 km
Inclinação da órbita	98 graus, heliossíncrona
Velocidade	7,1 km/s
Área de Cobertura	16,5 km por 16,5 km
Passagem	10h30min
Dados	11 bits
Formatos	GeoTIFF, NITF
Resolução	(NADIR) = 61 cm no PAN e 2,44 m MULTI.

3.8. ENVISAT

O ENVISAT é um satélite europeu que é usado principalmente para aplicações ambientais. É considerado o maior satélite de observação ambiental já feito na Europa. A bordo dele, existem dez instrumentos científicos que auxiliam na detecção de índices de poluição nos oceanos e em Terra, mudanças climáticas, análise de calotas polares, detecção de rastro de petróleo por navios petroleiros, etc. Os dez instrumentos são:

- ASAR (Advanced Synthetic-Aperture Radar)
- MERIS (Medium-Resolution Imaging Spectrometer)
- AATSR (Advanced Along -Track Scanning Radiometer)
- RA-2 (Radar Altimeter 2) que consiste de:
 - 4a MWR (Microwave Radiometer)
 - 4b DORIS (Doppler Orbitography and Radio-positioning Integrated by Satellite)
 - 4c LRR (Laser Retro Reflector)

- MIPAS (Michelson Interferometric Passive Atmospheric Sounder)
- GOMOS (Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars)
- SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography)

3.9. CBERS

O CBERS é o primeiro satélite de produção brasileira que está em órbita. Foi lançado em 1999, e o projeto é em parceria com a China.

Característica singular do CBERS é sua carga útil de múltiplos sensores, com resoluções espaciais e frequências de observação variadas. Os três sensores imageadores a bordo são o imageador de visada larga (WFI), a câmara CCD de alta resolução e o varredor multiespectral infravermelho (IR-MSS). O WFI tem uma visada de 900 km no solo, que dá uma visão sinótica com resolução espacial de 260 m e cobre o planeta em menos de 5 dias. Já os sensores CCD de alta resolução e IR-MSS fornecem informações mais detalhadas em uma visada mais estreita, de 120 km. A câmara CCD de alta resolução tem a capacidade adicional de apontamento lateral de $\pm 32^\circ$, que dá frequência de observações aumentada ou visão estereoscópica para uma dada região. Os dados de múltiplos sensores são especialmente interessantes para acompanhar ecossistemas que requerem alta repetitividade. Veja abaixo algumas características do módulo CCD de alta resolução:

Função	Característica
Resolução	20 metros
Altitude Média	778 km
Inclinação	98 graus
Massa	1450 kg
Bandas	5, sendo uma pancromática
Tempo de Vida	2 anos

Dados do CBERS extraídos diretamente do setor de geração de imagens (DGI).

3.9.1 CBERS 2

O CBERS-2 : O segundo satélite desenvolvido em conjunto com a China é tecnicamente idêntico ao CBERS-1. O CBERS-2 foi lançado com sucesso no dia 21 de outubro de 2003, partindo do Centro de Lançamento de Taiyuan, na China. O horário do lançamento foi às 11:16h (horário de Pequim), o que corresponde a 1:16h em Brasília.

O CBERS-2 foi integrado e testado no Laboratório de Integração e Testes do INPE.

Vantagem: O CBERS 2 fornece imagens de alta qualidade, gratuitamente, pela internet através do catálogo de imagens do INPE. Acesse o link abaixo e selecione a sua imagem:

<http://www.obt.inpe.br/catalogo/>

3.10. EO – 1 – Earth Observing 1

Três revolucionários instrumentos de imageamento do solo no EO-1 coletam cenas multiespectrais e hiperespectrais sobre o curso desta missão em coordenação com o Enhanced Thematic Mapper (ETM+) no Landsat 7. Utilizando tecnologias com materiais leves, arrays detectores integrados de alta performance e espectômetros de precisão são demonstrados nestes instrumentos.

Uma ou duas vezes ao dia, às vezes mais, Landsat 7 e EO-1 capturam imagens das mesmas áreas (cenas).

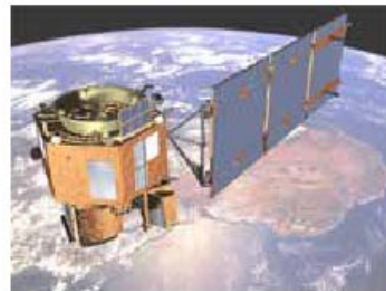


Figura A – 20: Satélite EO – 1 em órbita (ilustração)

Todos os três instrumentos do EO 1 (**ALI, Atmospheric Corrector e Hyperion**) visualizam todos ou subsegmentos da fileira do Landsat 7. Luz refletida do solo será imageada no plano focal de cada instrumento.

Cada um dos instrumentos possuem únicos métodos de filtração para a passagem de luz somente em específicas bandas espectrais. As bandas são selecionadas pela melhor visualização de específicas características da superfície ou do solo nas aplicações científicas ou comerciais.

Órbitas:

- LEO 705 Km sol-síncrona (inclinação de 98°), nodo descendente 10 AM;
- Desenvolvido para uma dose total de radiação de 15 Krad;
- Síncrono com Landsat-7, seguido por 1 minuto.

Controle & Manuseio de Dados:

- Arquitetura MIDEX, também utilizada na missão MAP da GSFC;
- Processador V Mongoose, 12MHz;
- 1.8 Gbits de telemetria e armazenamento de comando;
- 1773 Coletores de Dados de Fibra Óptica;
- Software de suporte a operações autônomas.

Orientação, Navegação & Controle (GN&C):

- Três eixos estabilizados para apontamento inercial e nadir;
- Precisão de apontamento de 0,03° nos três eixos;

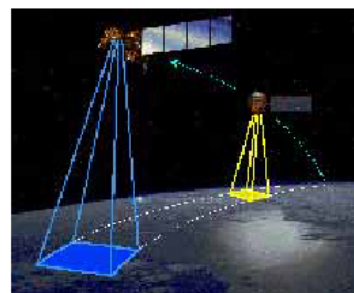


Figura A – 21: Esquema de imageamento do satélite EO-1

- Instabilidade é menor do que 5 arcosegundos;
- Rastreador Estrelar Autônomo permite posicionamento por 3 eixos;
- Receptor GPS para navegação onboard e sincronização (GSFC);
- Capacidade de formação de vôo autônoma;
- Software de vôo ACS versátil permite giração para objetos celestiais para instrumentos de calibração;
- Processador sobresalente Independente.

Armazenamento de Dados & Comunicações:

- Armazena 40 Gbits de dados científicos com um Processador Gravador Avançado de Faixa Ampla (GSFC);
- Utiliza formato CCSDS;
- Transmissão de dados científicos sobre banda-X a 105 Mb/seg; possui modo de backup banda-S para downlink a 2 Mb/seg;
- Downlink de dados de preparação de telemetria selecionável: 2 Kb/seg a 1 Mb/seg;
- Comando uplink rate: 2 Kb/seg.

Propulsão ("Primex Aerospace"):

- Sistema de propulsão de hidrazina para correção de erros de inserção, manutenção da órbita;
- Quatro empuxos de 1-Newton, base dupla, design de bobina duplo;
- Capacidade propulsora de 23,3 Kg, diafragma elastômero que permite expulsão positiva;
- Propulsores oblíquos de 15° para permitir controle total nos três eixos, torque de 0.8 N-m ao redor do eixo longitudinal e eixos de rolamento, 0.3 N-m sobre eixos de guinada.

3.10.1. ALI – Advanced Land Imager

O Earth Observing-1 (EO-1) Advanced Land Imager (ALI) é um instrumento que confirma a tecnologia do Programa do Novo Milênio (NMP). O plano focal para este instrumento é parcialmente constituído por quatro chips sensores reunidos (SCA) e cobre 3° por 1.625°. Operando no chamado modo de imageamento "pushbroom" em uma órbita de 705 km, o

ALI fornece bandas multiespectrais e pancromáticas do tipo Landsat. Estas bandas foram desenvolvidas para imitar seis bandas do Landsat com três bandas adicionais que cobrem 0.433-0.453, 0.845-0.890 e 1.20-1.30 μm . O ALI também possui ângulo aberto óptico desenvolvido para fornecer um campo de visão contínuo de $15^\circ \times 1.625^\circ$ para um plano focal completamente preenchido com resolução de 30 metros para pixels multiespectrais e resolução de 10 metros para pixels pancromáticos.



Cobertura Espectral do EO-1 ALI

Banda	Comprimento de Onda (em μm)	Resolução Espacial (em metros)
PAN	0.48 – 0.69	10
MS – 1'	0.433 – 0.453	30
MS – 1	0.45 – 0.515	30
MS – 2	0.525 – 0.605	30
MS – 3	0.63 – 0.69	30
MS – 4	0.775 – 0.805	30
MS – 4'	0.845 – 0.89	30
MS – 5'	1.2 – 1.3	30
MS – 5	1.55 – 1.75	30
MS – 7	2.08 – 2.35	30

Benefícios:

As tecnologias do ALI oferecem redução de massa, força, complexibilidade e custos de futuros sistemas de imageamento da Terra para o Programa de Ciência da Terra. Um ALI completamente operacional possui o potencial de reduzir custos e o tamanho dos futuros instrumentos tipo Landsat por um fator de 4 a 5.

3.10.2. AC – Atmospheric Corrector

Imagens da Terra são degradadas pela absorção e dispersão da atmosfera. A Missão do Earth Observing-1 do Programa do Novo Milênio (EO-1) fornece o primeiro teste baseado no espaço de um Corretor Atmosférico (AC) para o aumento da precisão das estimativas de reflectância da superfície.

O Atmospheric Corrector (AC) fornece as seguintes capacidades para a futura Ciência da Terra e missões de imageamento do solo:

- Alta absorvância espectral, imageador hiperespectral de resolução moderada utilizando uma tecnologia de filtro.
- Cobertura espectral de 0.85-1.5 μm , bandas são selecionadas para correção óptima de imagens de alta resolução espacial.
- Correção de imagens da superfície para variação atmosférica (primeiramente vapor d'água).



Figura A – 23: Sensor AC

Benefícios:

O Atmospheric Corrector pode ser aplicado em qualquer missão científica ou comercial de sensoriamento remoto da Terra onde a absorção da atmosfera devido ao vapor d'água ou aerossóis degradam as medições da reflectância da superfície. Utilizando o Atmospheric Corrector, medidas de instrumentos atuais melhores do que valores de absorção modelada, permitem maior precisão de modelos de previsão para serem construídos para aplicações de sensoriamento remoto.

3.10.3. Hyperion

O instrumento Hyperion fornece uma nova classe inédita de dados de observação orbital da Terra, para uma classificação da superfície muito superior aos dados convencionais. O Hyperion constitui um instrumento no estado de arte a respeito de resolução espectral, baseado na herança do Instrumento de Imageamento Hiperespectral LEWIS (HSI).

Os detetores do Hyperion fornecem resolução de propriedades da superfície em centenas de bandas espectrais versus as dez bandas multiespectrais de imageamento tradicionais do Landsat. Através deste grande número de bandas espectrais, ecossistemas terrestres complexos podem ser imageados e classificados precisamente.



Figura A – 24: Sensor Hyperion

O Hyperion dispõe de um imageador de alta resolução capaz de analisar 220 bandas espectrais (de 0.4 a 2.5 μm) com uma resolução de 30 metros. O instrumento pode imagear uma área do solo de 7,5 km por 100 km a cada imagem e fornecer mapeamento.

espectral através de todos os 220 canais com alta precisão radiométrica. Concebido originalmente como parte do instrumento ALI, o Hyperion agora é um instrumento completo e independente do EO-1. Os principais componentes deste instrumento possuem:

- Sistema com design baseado na missão KOMPSAT EOC. O telescópio fornece dois conversores reticulares espectrômetros de imagens separados para melhorar a taxa de sinal-ruído (SNR).
- Um array de planos focais que fornecem detetores de ondas curtas separadas (SWIR) e espectro visível (VNIR) baseados em hardware sobressalente do programa LEWIS HSI.
- Um cryocooler idêntico ao fabricado para a missão LEWIS HSI para refrigeração do plano focal SWIR.

Depois de seu lançamento a bordo do satélite EO-1 da NASA, o imageador hiperespectral está transmitindo imagens da superfície da Terra para estações terrestres espalhadas pelo mundo. Hyperion é o primeiro imageador hiperespectral da NASA a estar operando em órbita. Dados do Hyperion estão fornecendo mais detalhes da superfície da Terra dos que atualmente estão disponíveis através de instrumentos multiespectrais, como o instrumento Enhanced Thematic Mapper Plus no Landsat. A classificação detalhada de ecossistemas complexos com o imageador hiperespectral proporciona maior precisão para os dados de sensoriamento remoto.



Figura A – 25: Imagem adquirida pelo Hyperion mostra a quantidade de clorofila relativa da vegetação .

Minerais na superfície da Terra podem ser identificados e novos mapas de minérios podem ser criados para selecionar locais para exploração; inventários florestais podem ser desenvolvidos para regiões remotas para suportar gerenciamento e planejamento ecológico.

Benefícios:

Imageamento hiperespectral possui muitas aplicações em geologia de mineração, silvicultura, agricultura e gerenciamento do ambiente. Classificações detalhadas do solo que são obtidas através do Hyperion possibilitam exploração mineral mais precisa, melhores previsões de boas safras e assentamentos, e melhor cartografia.