

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
Campus de Piracicaba

LSO 660 – Manejo e Conservação do Solo – 2014

Teórico/Prática – Tema:

Caracterização e Espacialização do meio físico, como base para o planejamento do uso da terra

Prof. Dr. J. Alexandre Demattê

Departamento de Ciência do Solo

Capítulo 5 Sensoriamento remoto aplicado a solos e uso da terra

1. Introdução

O solo é um dos mais importantes recursos naturais da terra, pois dependemos dele para o nosso sustento. A erosão não só degrada o solo, mas concorre para outros impactos que também são severos, como o assoreamento e a queda na produtividade. Portanto, precisamos ampliar nosso conhecimento para melhor protegê-los. Neste aspecto, o sensoriamento remoto tem sido considerado uma importante ferramenta nos mais diversos aspectos relacionados a agronomia e em particular aos estudos de solos e uso da terra. Tal técnica pode auxiliar na identificação e caracterização de solos, vegetação, geologia, planejamento de cidades e desenvolvimento urbano, uso atual da terra, planejar o controle de erosão, programar reflorestamentos e planejar o uso da terra.

O conhecimento da distribuição dos solos do Brasil, apresenta como dificuldade a enorme dimensão territorial (aproximadamente 8,5 milhões de km²). Por outro lado, os mapeamentos de solos são ainda muito generalizados. A caracterização e o conhecimento dos solos é a base para a elaboração de mapas de solos e uso da terra. Como consequência, pode-se racionalizar o seu uso, diminuindo os impactos do manejo agrícola, permitindo maiores produtividades. Para a avaliação dos solos, são realizadas análises físicas, químicas e mineralógicas, as quais são normalmente caras e demoradas. Neste sentido, novas técnicas devem ser desenvolvidas com o objetivo de, conjuntamente com as convencionais, auxiliar no diagnóstico qualitativo e quantitativo dos solos.

Várias são as técnicas de sensoriamento remoto no monitoramento e discriminação de solos e uso da terra, como as fotografias aéreas, imagens multiespectrais e hiperespectrais, uso de sensores ativos e passivos. Destas, as fotografias aéreas aparecem como a de mais antiga utilização, porém, ainda com grande utilidade, sendo a base para o entendimento das relações solo/paisagem, muito utilizado em levantamento de solos. Com o surgimento das imagens orbitais e os estudos espectrais, ampliou-se o potencial do sensoriamento remoto. Nos dias atuais, cientistas exploram metodologias que venham a explorar os padrões de interação das propriedades dos solos e plantas com sua energia refletida, com o propósito de extrair o máximo de informações sobre as suas características biofísicas.

É nesse contexto, que os produtos do sensoriamento remoto constituem um importante material de apoio nos trabalhos de levantamentos de solos e uso da terra.

2. Histórico

Crepani, em 1983, define de forma sucinta e que melhor expressa a definição do termo sensoriamento remoto: "é a ciência e a arte de se obterem informações sobre um objeto, área ou fenômeno, através da análise

de dados coletados por aparelhos denominados sensores, que não entram em contato direto com os alvos em estudo".

Portanto, pode-se dizer que o sensoriamento provavelmente teve seu início com Laussedat, em 1850, que realizou um 1º trabalho utilizando fotografias, tendo sido chamado então de "Pai da Fotogrametria". Ele combinou o teodolito com a máquina fotográfica, obtendo medidas das fotos (fototeodolito), em relação a um espaço. A partir de 1860, foram tiradas as primeiras fotografias aéreas usando papagaios e balões, não obtendo bons resultados. A primeira fotografia aérea com resultados foi tirada utilizando um balão em 1887, por Fairman nos EUA. Em 1900 iniciaram-se trabalhos onde tiravam fotos aéreas com grande ângulo de recobrimento.

O desenvolvimento das fotografias aéreas, viria, entretanto, na época da primeira guerra mundial, fotos essas tomadas de avião para fins de mapeamento em 1913, pelo capitão Tardivo, na cidade de Bengasi. O aperfeiçoamento ocorreu na segunda grande guerra em 1939.

A partir da década de 60, iniciou-se o uso de imagens orbitais, sendo que a partir de 1972, os estudos ligados ao meio ambiente se desenvolveram mais. Hoje, ocorre um uso intensivo tanto de imagens orbitais como fotografias aéreas.

O sensoriamento remoto iniciou com o advento das fotografias aéreas conforme visto anteriormente. As imagens orbitais porém, iniciaram em 1960, e os estudos ambientais datam de 1972. De lá para cá, foram lançados satélites de estudos ambientais como o Landsat e o Spot, sendo estes estudos cada vez mais avançados. Da mesma forma, sensores terrestres vêm sendo cada vez mais utilizados.

3. Características básicas do sensoriamento remoto

A figura 3.3 ilustra os diversos componentes do sensoriamento remoto, como as fases de aquisição de dados, radiação eletromagnética e o espectro óptico. Os dados em sensoriamento remoto são coletados por equipamentos chamados de sensores. Estes equipamentos captam informações dos objetos sem entrar em contato direto. Existem diversos tipos de equipamentos, com características específicas.

a. Fases de aquisição de dados

Os elementos da fase de aquisição, cuja influência sobre as características da informação obtida deve ser compreendida para a correta interpretação, são os seguintes: energia radiante, fonte de radiação, alvo, trajetória e sensor (Figura 3.3). O sensor, aparelho que mede os dados radiométricos, pode ser colocado em diversos níveis (Figura 3.4). A energia ao interagir com o objeto decorre em diferentes processos (Figura 3.5), ou seja pode ser absorvida, refletida ou transmitida. Todo objeto com temperatura acima do zero absoluto (> 0 Kelvin) emite energia, logo todo objeto também emite energia.

b. Radiação eletromagnética

O modelo ondulatório é convenientemente utilizado, quando se tratar da propagação da REM (Radiação Eletromagnética) e um ponto a outro do espaço. Uma onda eletromagnética, consiste de dois campos, um elétrico e outro magnético, oscilantes na direção perpendicular à direção de propagação e mutuamente perpendiculares entre si (Figura 3.3 e Figura 3.1). Essa radiação pode ser absorvida, transmitida e refletida. A refletida é a mais comumente estudado em relação a solos.

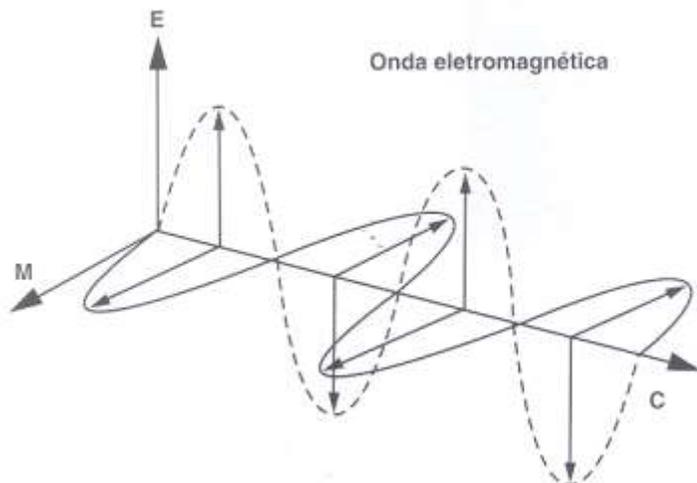


Figura 3.1 – Esquema de uma onda eletromagnética: campo elétrico (E), campo magnético (M) e sentido de propagação (C). (Moreira, 2005)

c. Espectro óptico

A faixa espectral que se estende de $0,3 \mu\text{m}$ a $15,0 \mu\text{m}$ é a mais usada em sensoriamento remoto. Esta faixa é conhecida como espectro óptico, pois nela os componentes ópticos de reflexão e refração, tais como lentes, espelhos, prismas, etc, podem ser usados para coletar e reorientar a radiação (Figura 3.3; 3.2 e Tabela 3.1).

A região entre $0,38 \mu\text{m}$ e $3,0 \mu\text{m}$ é chamada de espectro refletivo, pois a REM nesses comprimentos de onda é basicamente originada do Sol e refletida pelos alvos terrestres.

Assim, cada objeto terá uma curva espectral de acordo com o comprimento de onda e suas condições naquele instante. As figuras 3.6, 3.9 e 3.8 mostra curvas espectrais do solo, vegetação e água. Observe que, para cada comprimento de onda ocorre uma refletância diferente, obtendo no final, curvas espectrais diferentes. É claro que nem todo o tipo de vegetação ou solo terá curvas idênticas, mas certamente obedecerão a um mesmo padrão.

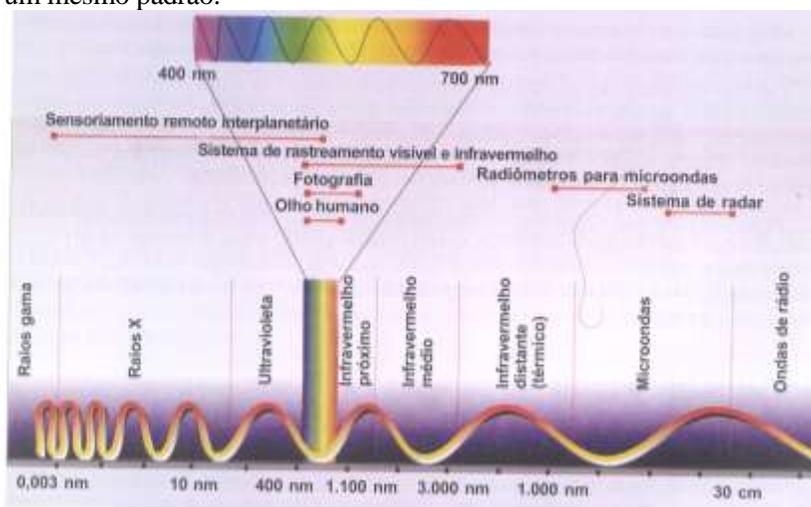


Figura 3.2 – Representação Espectro Eletromagnético (Moreira, 2005)

Cor	Comprimento de onda	
	Nanômetro (nm)	Micrômetro (μm)
Violeta	400 a 446	0,40 a 0,446
Azul	446 a 500	0,446 a 0,500
Verde	500 a 578	0,500 a 0,578
Amarela	578 a 592	0,578 a 0,592
Laranja	592 a 620	0,592 a 0,620
Vermelha	620 a 700	0,620 a 0,700

Tabela 3.1 – Cores da faixa do visível e respectivos comprimentos de onda. (Moreira, 2005)

d. Aparelhos sensores

Assim, pode-se dizer que um sensor remoto é um dispositivo capaz de responder à REM de determinada faixa do espectro eletromagnético, registrá-la e gerar um produto numa forma adequada à interpretação pelo usuário.

Os sensores podem de uma forma geral, ser classificados em passivos e ativos. Sensores passivos são aqueles que necessitam de uma fonte externa de REM para poderem operar, ou seja, utilizam a energia emitida ou proveniente de outras fontes (das quais a mais comum é o sol) e refletida pelo alvo. Sensores ativos são aqueles que possuem a sua própria fonte de radiação eletromagnética, registrando a energia por eles emitida e refletida pelo alvo.

e. Resolução

A resolução espacial identifica a área medida por um aparelho sensor. As imagens produzidas pelo sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat, por exemplo, possuem uma resolução de 30 metros, ou seja, objetos imageados pelo sistema que estejam distanciados entre si, em menos de 30 metros não serão, em geral, discriminados na imagem. Nesse caso, o poder de resolução do sensor TM (exceto para a banda do infravermelho termal, como será visto mais a frente) é de 30 metros. Quanto menor o valor da resolução espacial, maior é o poder de resolução do sistema (Figura 3.10). A essa área denomina-se o pixel.

A resolução espectral, segundo Novo (1989), é uma medida da amplitude das faixas espectrais às quais o sensor é sensível. Assim, um sensor que opera, por exemplo, na faixa de 400 nm a 500 nm, possui um poder de resolução espectral maior que um outro que opera na faixa de 400 nm a 600 nm, pois será capaz de registrar variações no comportamento espectral dos alvos em faixas mais estreitas do espectro eletromagnético.

Há ainda o poder de resolução radiométrica, que se refere à sensibilidade do sistema em detectar diferentes níveis de intensidade do sinal de retorno, traduzidos, por exemplo, por diferentes níveis de cinza que irão compor uma imagem. No sistema Landsat, o sensor MSS pode produzir imagens com até 128 níveis de cinza, enquanto que para o sensor TM este valor é de 256 níveis (maior poder de resolução radiométrica). Ou seja, toda imagem orbital está “esquadrinhada” em pixels (resolução espacial), sobre os quais são determinadas as características espectrais dos alvos por ele compreendidos (resolução espectral) – figura 3.9.

Também existe a resolução temporal, mais aplicada a sensores orbitais, a resolução temporal se refere ao tempo que o sensor “demora” para captar novamente uma imagem de um dado local, por exemplo um satélite que capta uma imagem de um local hoje e cuja próxima coleta só será realizada daqui a 16 dias, possui uma resolução temporal de 16 dias.

f. Características espectrais de alvos

A energia que incide sobre um objeto, pode ser transmitida, emitida, absorvida ou refletida. A energia mais comumente estudada para fins de solos e vegetação é a **refletida**.

Os “objetos” como solo e vegetação, podem ser avaliados pelo sensoriamento remoto. Os sensores podem ser posicionados em diferentes níveis (terrestre, aéreo ou orbital), obtendo-se os chamados dados espectrais (ou informações espectrais). As informações espectrais são intrínsecas ao objeto, ou seja, estão em função das características de cada objeto. Essas informações, portanto, podem ser interpretadas para fins de identificação e análise de objetos, como os solos, vegetação, etc. As figuras 3.6, 3.9, 3.8 e 3.7 ilustram os dados espectrais obtidos ao nível terrestre de três alvos. Cada alvo distinto apresenta de forma geral uma assinatura espectral padrão.

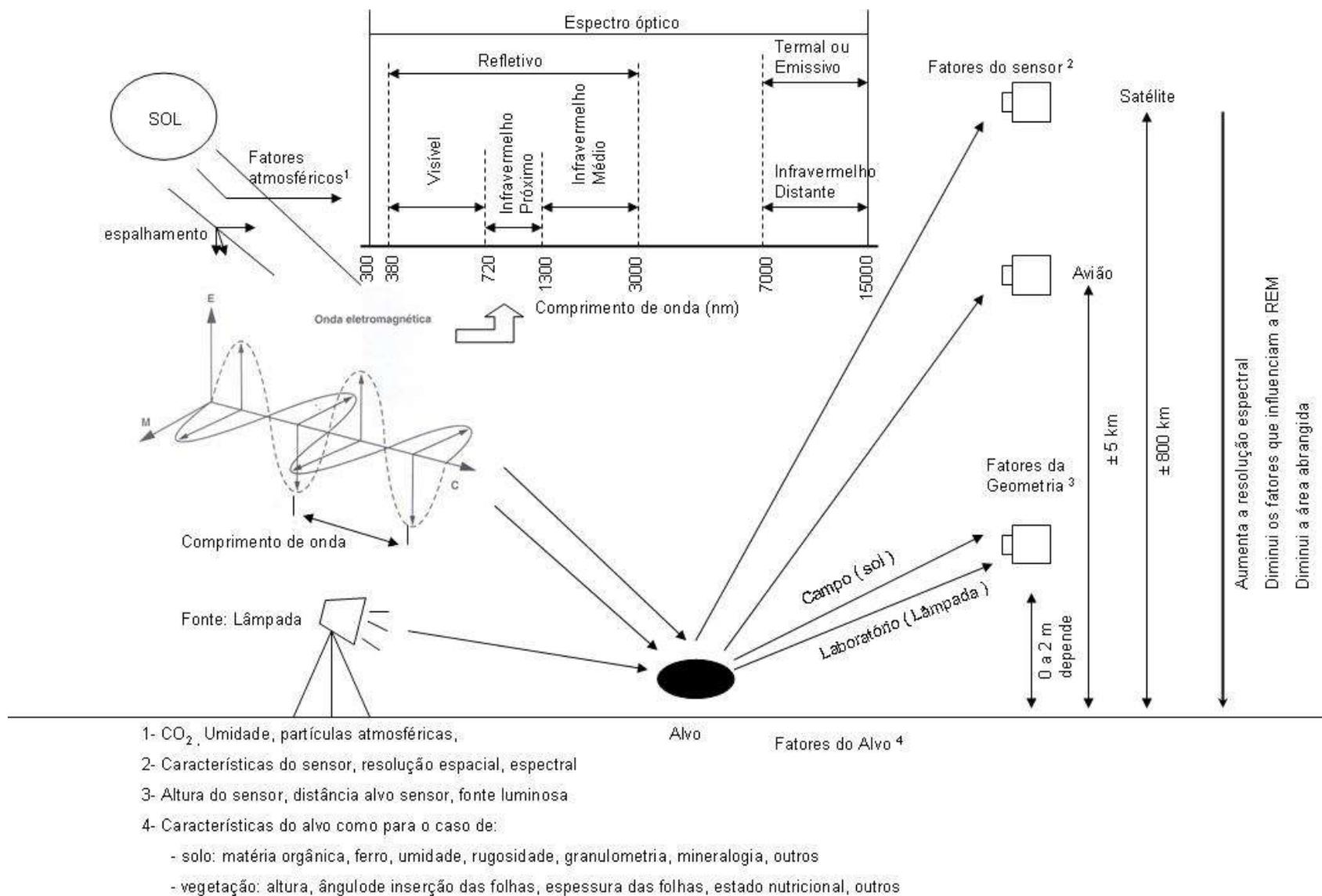


Figura 3.3 Esquema geral das fases de aquisição do sensoriamento remoto, ondas eletromagnéticas e espectro óptico.



Fonte: GEOSYSTEMS



Fonte: Moreira, 2005

Figura 3.4 -Níveis de aquisição de dados.

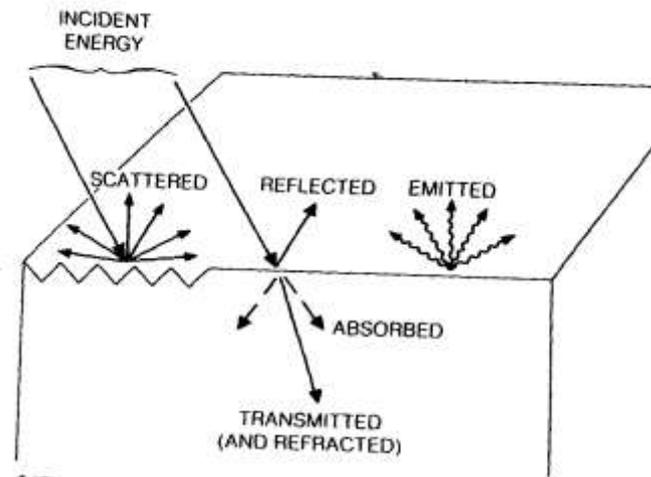
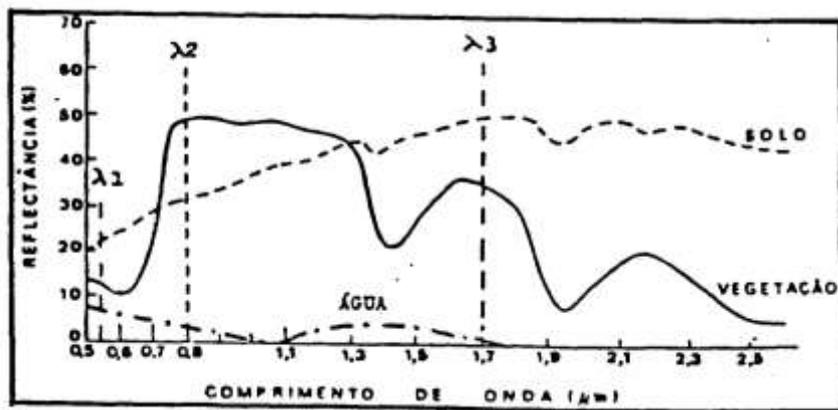
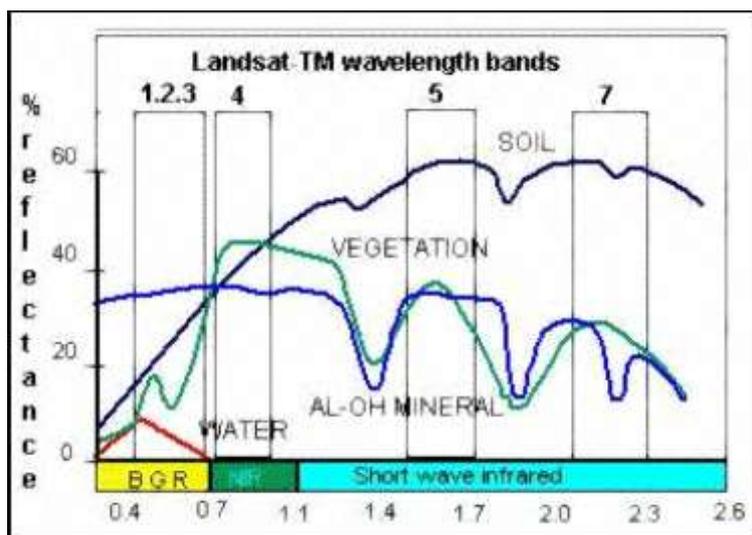


Figura 3.5 Processo de interação entre energia eletromagnética e a matéria.



a)



b)

Figura 3.6 a e b- Curvas espectrais de solo, água e vegetação.

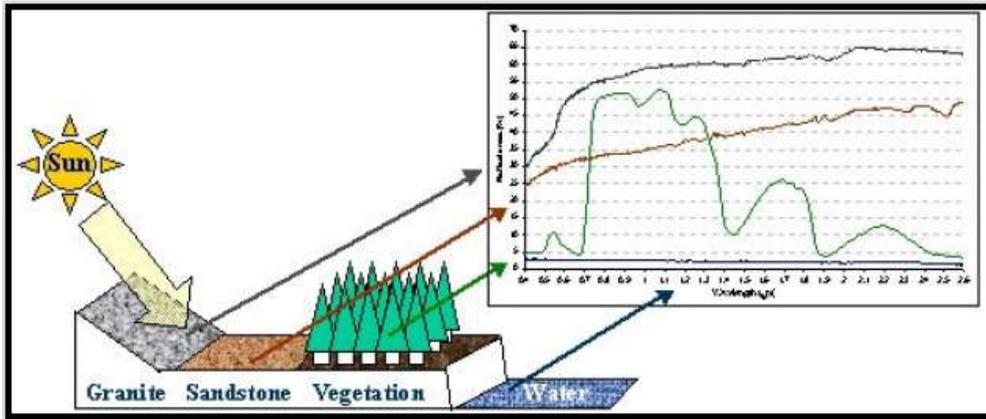


Figura 3.7- Ilustração de como diferentes alvos apresentam padrões espectrais distintos (Zullo Jr. 2007)

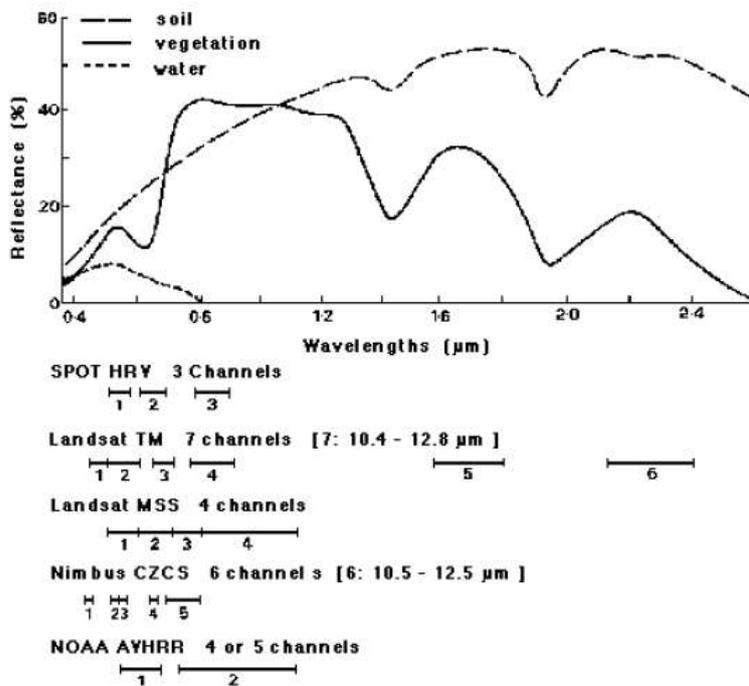


Figura 3.8 Reflectância espectral de solo, vegetação e água e sua relação com bandas multiespectrais e hiperespectrais (Zullo Jr., 2007).

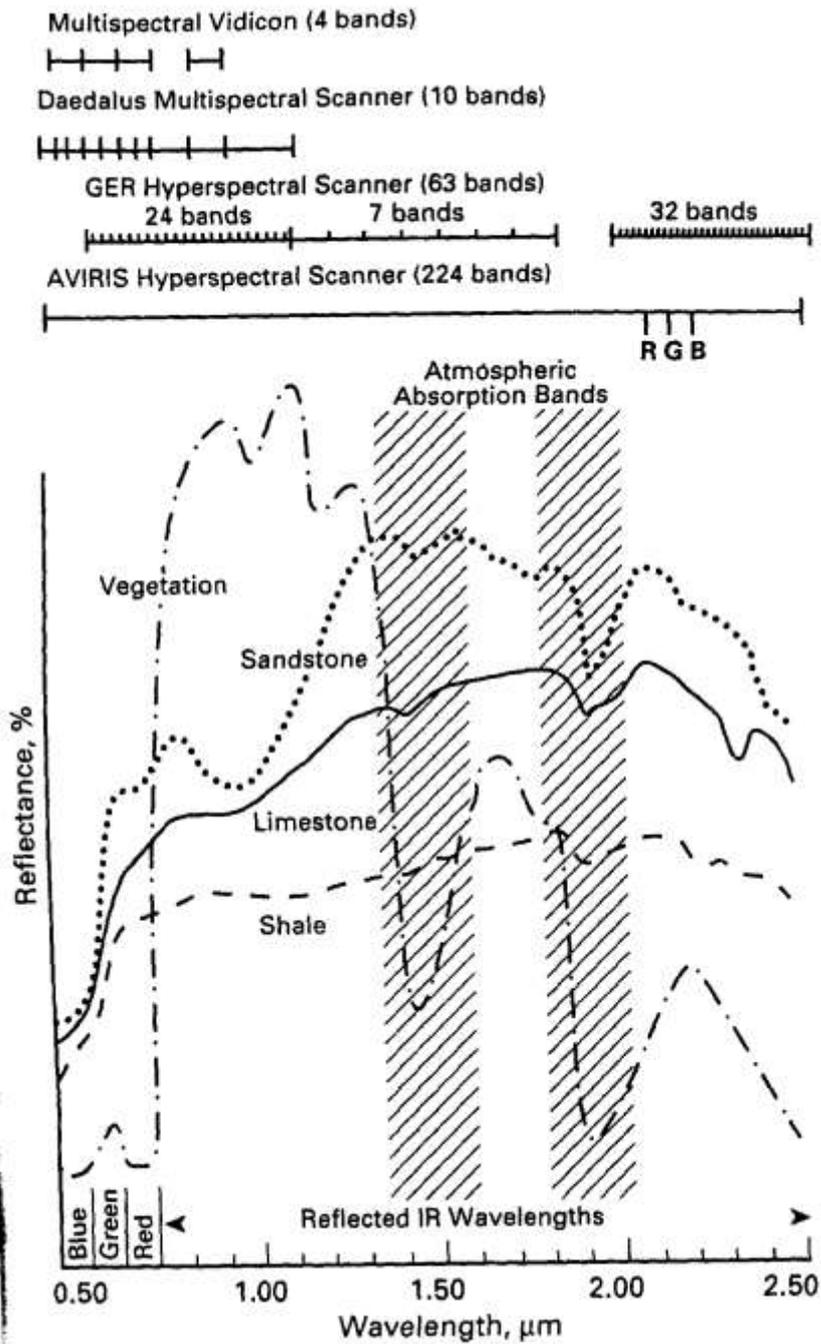


Figura 3.9 Reflectância espectral de rocha e vegetação e sua relação com banda multiespectrais e hiperspectrais (Sabins, 2000).

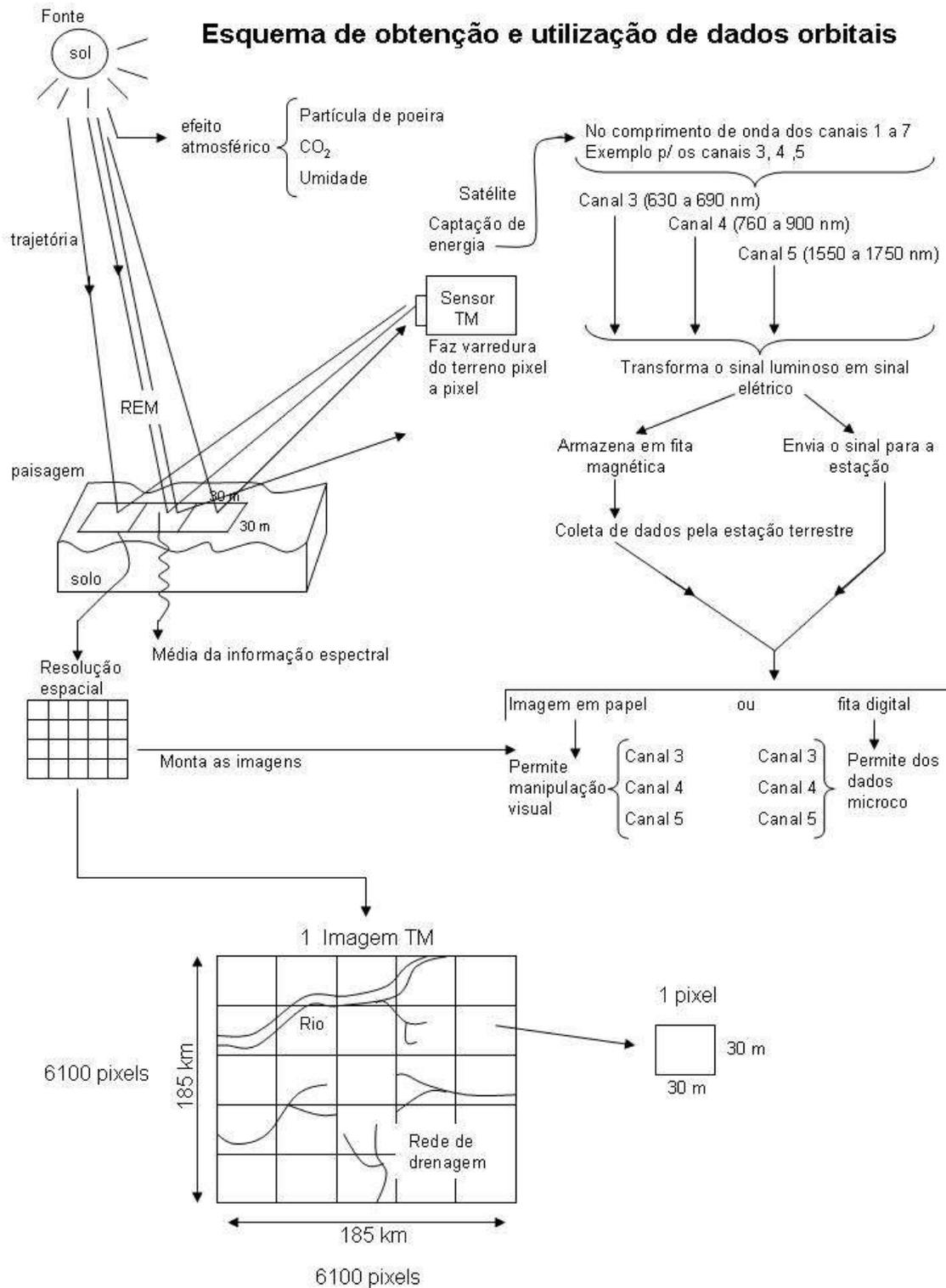


Figura 3.10 Esquema geral de aquisição de dados, com ênfase para o pixel.

4 - Avaliação espectral de solos

A avaliação das características espectrais pode ser realizada em diversos níveis de aquisição de dados. Tudo depende do posicionamento do sensor, localizado na terra, num helicóptero, num avião ou em órbita. É claro que cada nível de aquisição poderá ter sensores devidamente adaptados às suas condições. A questão básica é que um alvo (solo, vegetação) pode ser analisado pelos aparelhos sensores, tendo diferentes características espectrais, sendo que dependendo do nível de aquisição, existem vantagens e desvantagens. Porém, para um detalhado entendimento do comportamento espectral, deve-se primeiro conhecer o objeto através de uma situação com um mínimo de interferências. Nesse caso, os estudos ao nível de laboratório são considerados básicos. Tal conhecimento é essencial para a avaliação espectral de campo e orbital. Assim o conhecimento os dados espectrais “puros” possibilita melhor entendimento de dados que sofrem mais interferências do meio.

4.1. Avaliação espectral de solos com sensor terrestre

4.1.1 Obtenção dos dados espectrais

O objetivo é o de obter dados de reflectância de uma amostra de solo utilizando espectroradiômetro em laboratório. Para isso, é necessário montar uma geometria para aquisição destes dados, conforme a figura 4.1 Normalmente é utilizada uma placa padrão branca, com 100 % de reflectância. As amostras que serão analisadas podem ser de qualquer objeto, solo, rocha, vegetação. Para o caso de solo, normalmente ele deve ser preparado, ou seja, seco em estufa a 45°C e moído e peneirado em peneira de 2 mm. Isto é realizado para padronizar dois fatores que interferem na reflectância, que são a umidade e a rugosidade de superfície.

Cada espectroradiômetro tem suas particularidades. Como exemplo citamos o Infra Red Intelligent Spectroradiometer (IRIS), que mede entre 300 e 3000 nm, abrangendo a faixa do visível e do infravermelho. Todo o sistema é amparado por um computador que armazena as informações da placa padrão branca (com máxima reflectância) e do objeto (com reflectância menor). A razão entre o fluxo radiante espectral refletido pela superfície da amostra e o fluxo radiante espectral refletido pela placa de referência (de acordo com a geometria estipulada) gera o “fator de reflectância bidirecional”. Portanto, o sensor faz uma “varredura” na amostra de solo, obtendo dados de reflectância para os comprimentos de onda situados entre 300 e 3000 nm, respeitando a sua resolução espectral. A figura 4.2 apresenta uma curva espectral ilustrada no painel do software do sensor IRIS.

A utilização de sensores ao nível de campo tem como diferença básica a fonte de iluminação, que no caso será a do sol. Além disso, não se terá controle sobre uma série de fatores como a umidade e rugosidade da superfície.

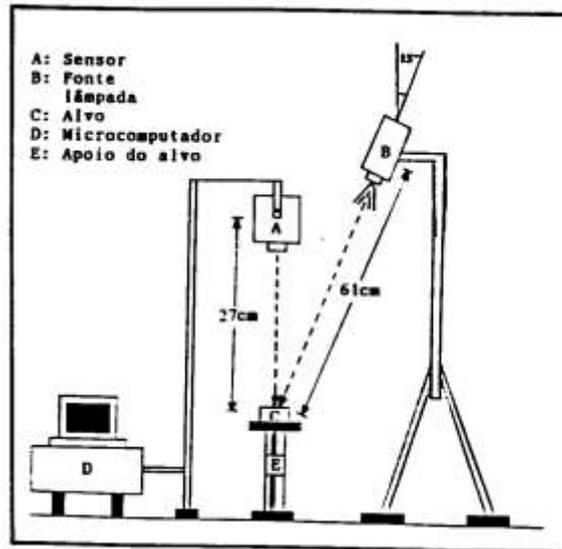


Figura 4.1 Geometria para aquisição da dados espectrais em laboratório.

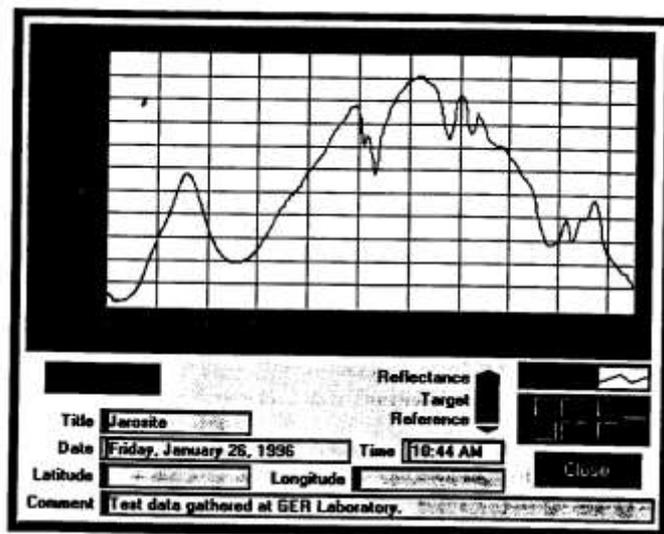


Figura 4.2 Geometria de aquisição dos dados espectrais de alvos (painel do sensor IRIS).

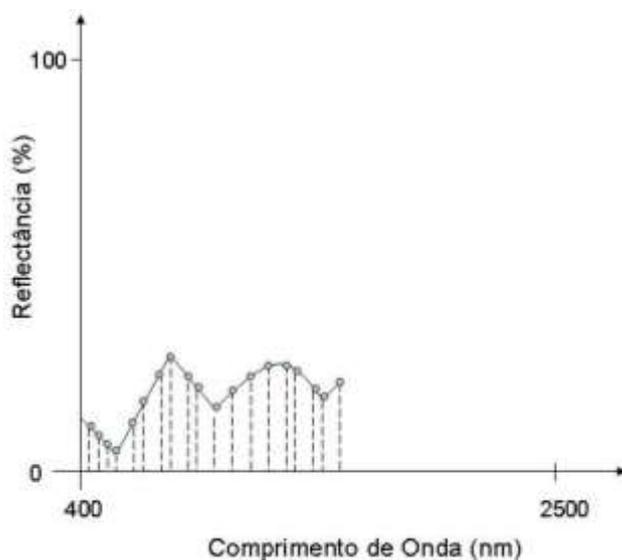


Figura 4.3 Gráfico ilustrando como a curva espectral é montada ponto a ponto.

4.1.2 Principais características de uma curva espectral de solo

Da interação da energia incidente com os diversos fatores do solo, surge a curva espectral referente a energia refletida. Como cada solo apresenta características distintas, em sua maioria, apresentam também curvas espectrais com diferentes formatos. Tais curvas podem ser avaliadas pelas suas características descritivas quanto a forma, intensidade de reflectancia e feicoes de absorcao (fig 4.4)..

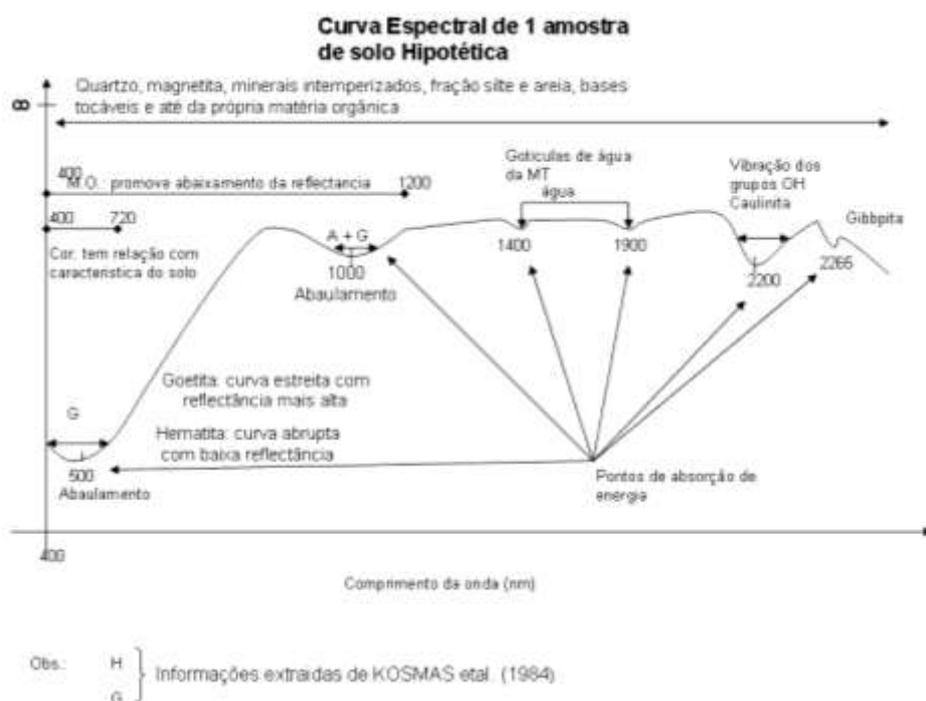


Figura 4.4 Curva hipotética indicando os locais de influência das características do solo na energia refletida

4.1.3 Fatores que influenciam dados espectrais

A curva espectral é o resultado da interação da radiação eletromagnética com os atributos dos solos como: material de origem, matéria orgânica, óxidos de ferro, mineralogia e granulometria, umidade, situação da superfície do solo. A informação espectral pode ser interpretada para fins de avaliação do solo e do uso da terra. Em termos de solo, geralmente quanto maior o teor de matéria orgânica, menor a intensidade de reflectância. O mesmo ocorre com o ferro. Quanto mais argiloso o solo, menor a reflectância. O teor de umidade também influi significativamente. Quanto mais úmido o solo, maior a energia absorvida pela amostra e menor a intensidade de reflectância. Essas, entretanto, são regras gerais, e a sua interpretação definitiva vai depender de todas as características do solo analisado.

A seguir têm-se curvas espectrais dos perfis de dois solos distintos.

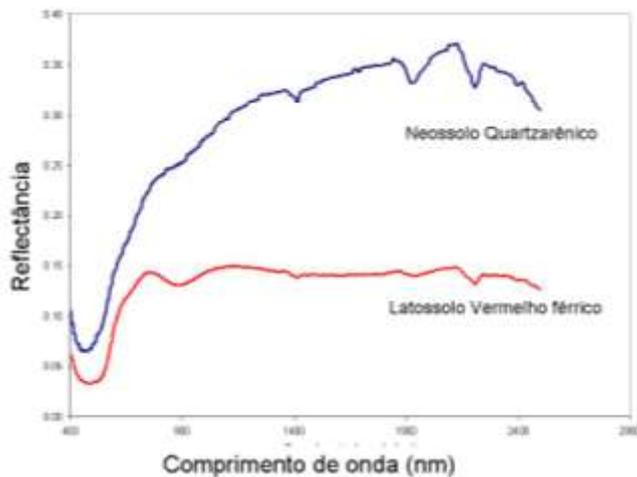
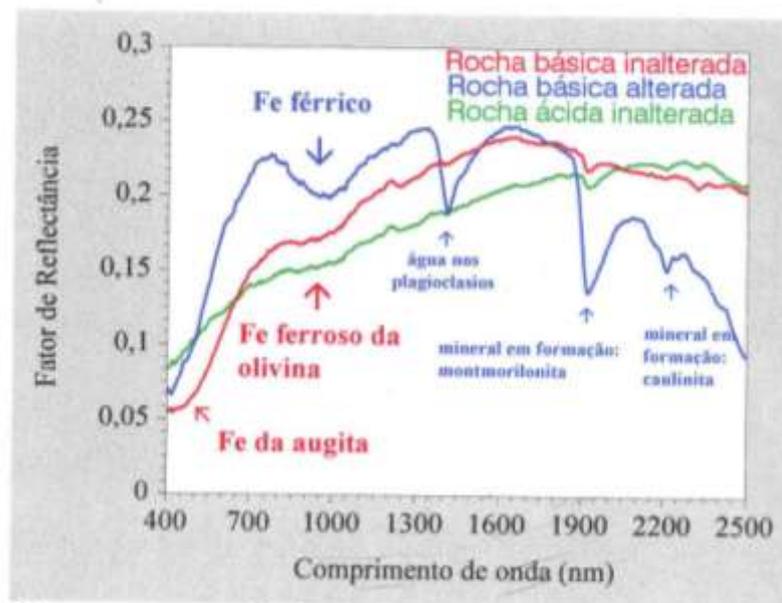


Figura 4.6. Curvas espectrais de dois solos distintos

a. Material de origem

Os solos advêm, além dos materiais orgânicos, do intemperismo de rochas, e, portanto, os minerais presentes nessas rochas irão influenciar os solos. A figura 4.7 apresenta curvas espectrais de diferentes materiais de origem.



Curvas espectrais da rocha básica inalterada, rocha básica alterada e rocha ácida,

Figura 4.7 – Curvas espectrais de três materiais de origem distintos (Demattê & Garcia, 1999).

b. Matéria orgânica

A matéria orgânica absorve energia. Com isso, seu efeito é o de diminuir a intensidade de reflectância (Coleman & Montgomery, 1987). A faixa espectral de atuação pode ser de 400 a 1200 nm ou de 400 a 2500 nm de acordo com diferentes autores. A figura 4.9 ilustra a atuação desse atributo.

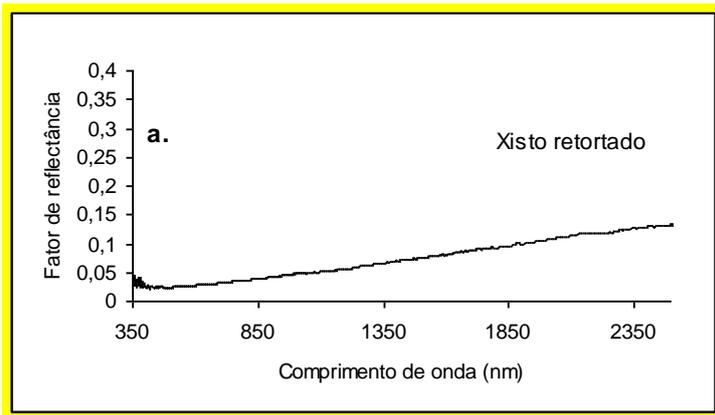


Figura 4.8 Curva espectral de um material orgânico (xisto retornado).

c. Óxidos de ferro

Os óxidos de ferro cristalino hematita e goetita atuam principalmente em 850 nm. Basicamente sua presença causa uma absorção (concauidade) nessa faixa espectral (Vitorello & Galvão, 1996). Esse dois óxidos podem ser diferenciados no solo. A goetita causa um ligeiro “ombro” próximo a 650 nm o que não ocorre com a presença de hematita. Entre 400 e 600 nm, a goetita causa uma concauidade mais estreita e a hematita mais larga. Além disso, a hematita absorve mais energia diminuindo a intensidade de reflectância. A figura 4.11 ilustra as curvas espectrais desses dois óxidos.

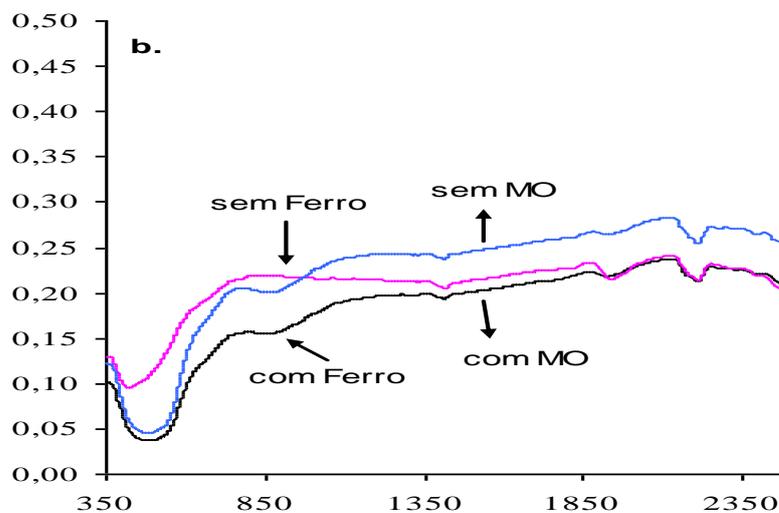


Figura 4.9 Curvas espectrais de solo com ou sem ferro e com ou sem Matéria Orgânica

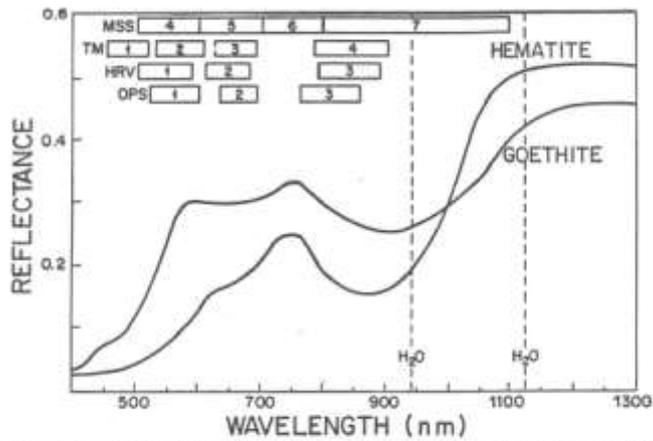


Figure 2: Features observed in the spectra of hematite and goethite, and the positions and widths of orbital scanners, and of atmospheric water absorption.

Figura 4.11 – Comportamento espectral da hematita e goetita

d. Mineralogia

Os argilo-minerais também interferem na reflectância, principalmente devido a interação da sua estrutura com a energia incidente (Figura 4.12 e 4.13.) A caulinita e a montmorilonita apresentam diferentes formas nas curvas. Além disso, a caulinita apresenta a banda em 2200 nm com feição característica. A gibbsita por sua vez, apresenta feição em 2265 nm (Figura 4.12) 4.13

Basicamente cada mineral do solo tem sua influência na formação de uma curva espectral do solo. A magnetita não apresenta feições quando na forma pura, o que faz com que a curva de um solo tenha um abaixamento na intensidade de reflectância. O quartzo, por sua vez, apresenta alta intensidade, o que irá influenciar o aumento da intensidade de reflectância. Portanto, solos argilosos tendem a apresentar curvas espectrais com menor intensidade do que solos arenosos.

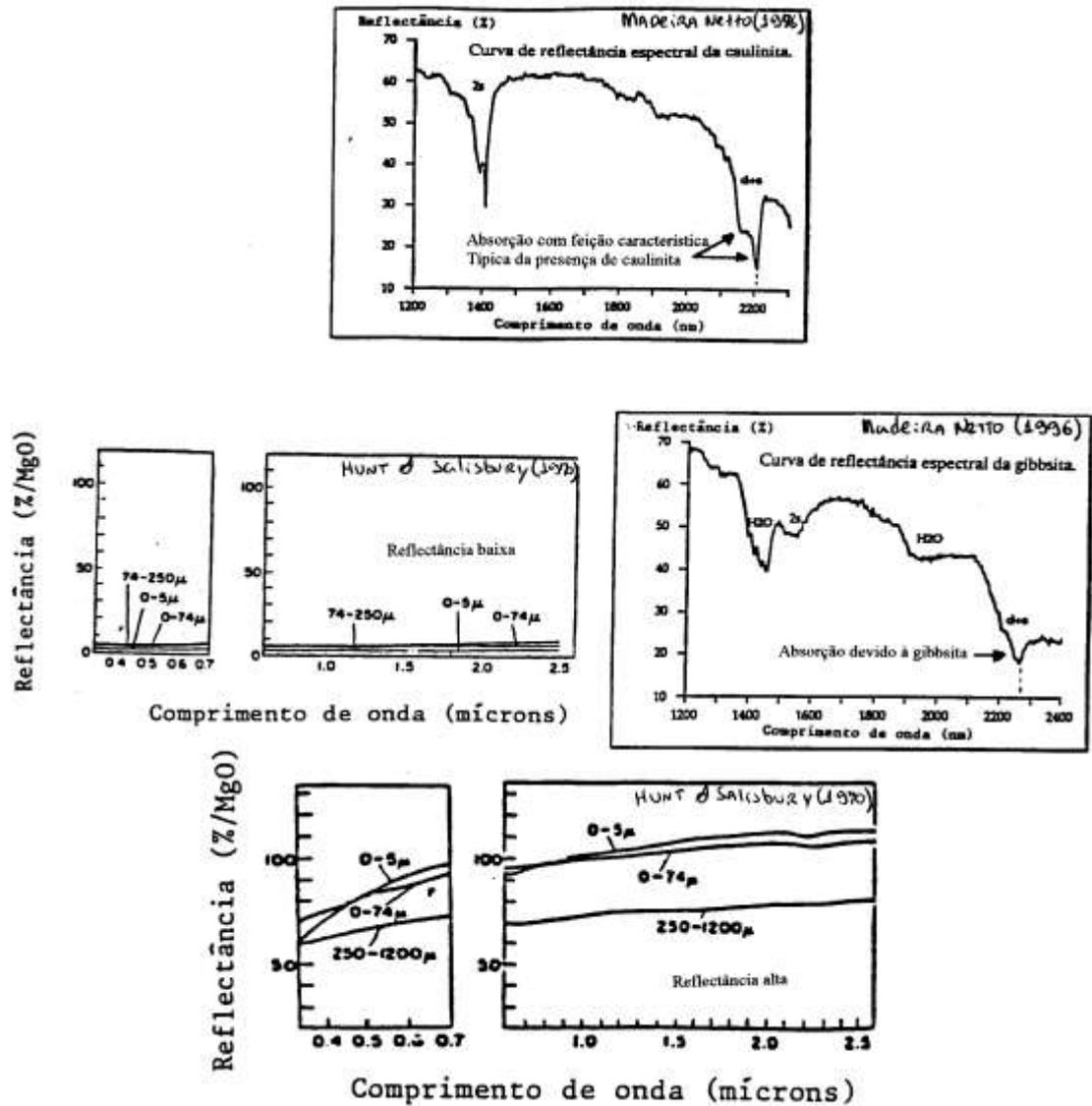
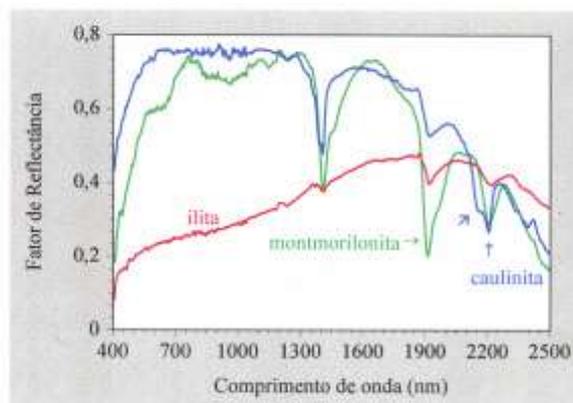


Figura 4.12 – Comportamento espectral de diferentes minerais de argila



Curvas espectrais de minerais de argila padrão provenientes dos Estados Unidos da América

Figura 4.13 – Comportamento espectral de minerais de argila: illita, montmorilonita e caulinita.

e. Elementos da solução do solo

Além dos fatores estruturais (areia, silte, argila, minerais) o solo também é constituído por elementos como o alumínio, cálcio, magnésio entre outros. Nesse caso, foi observado (Demattê et al. (1998) que a energia, ao incidir no elemento cálcio, causa variação na magnitude de reflectância. Entretanto, as questões relativas aos elementos químicos continuam em estudo.

f Granulometria

Solos argilosos e arenosos apresentam comportamento diferente. Primeiramente devido as diferenças na classe granulométrica, um solo argiloso de maneira geral apresenta maior absorção de energia do que um solo arenoso.

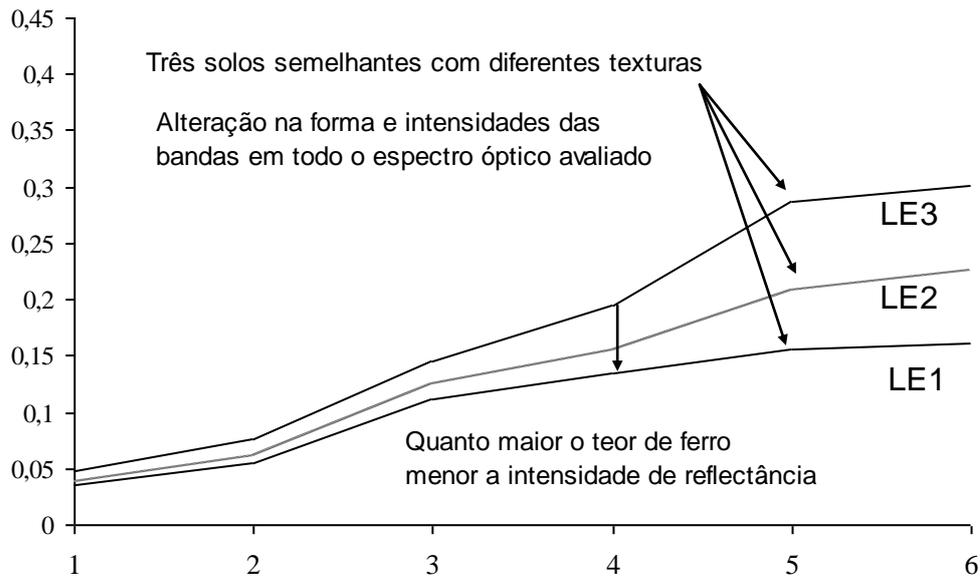


Figura 4.14 – Curvas espectrais (landsat) de mesmo solo com distintas texturas: LE1 (muito argilosa), LE2 (média-argilosa) e LE3 (média-arenosa).

f. Umidade

As moléculas de água promovem a absorção de energia e conseqüentemente diminuem a intensidade de reflectância. A figura 4.15 ilustra amostras secas e úmidas. A radiação eletromagnética, ao incidir nas moléculas de água adsorvidas nos minerais ou nos radicais orgânicos, sofrem um processo vibracional, que promove uma absorção de energia, conforme ilustrado na figura 4.15

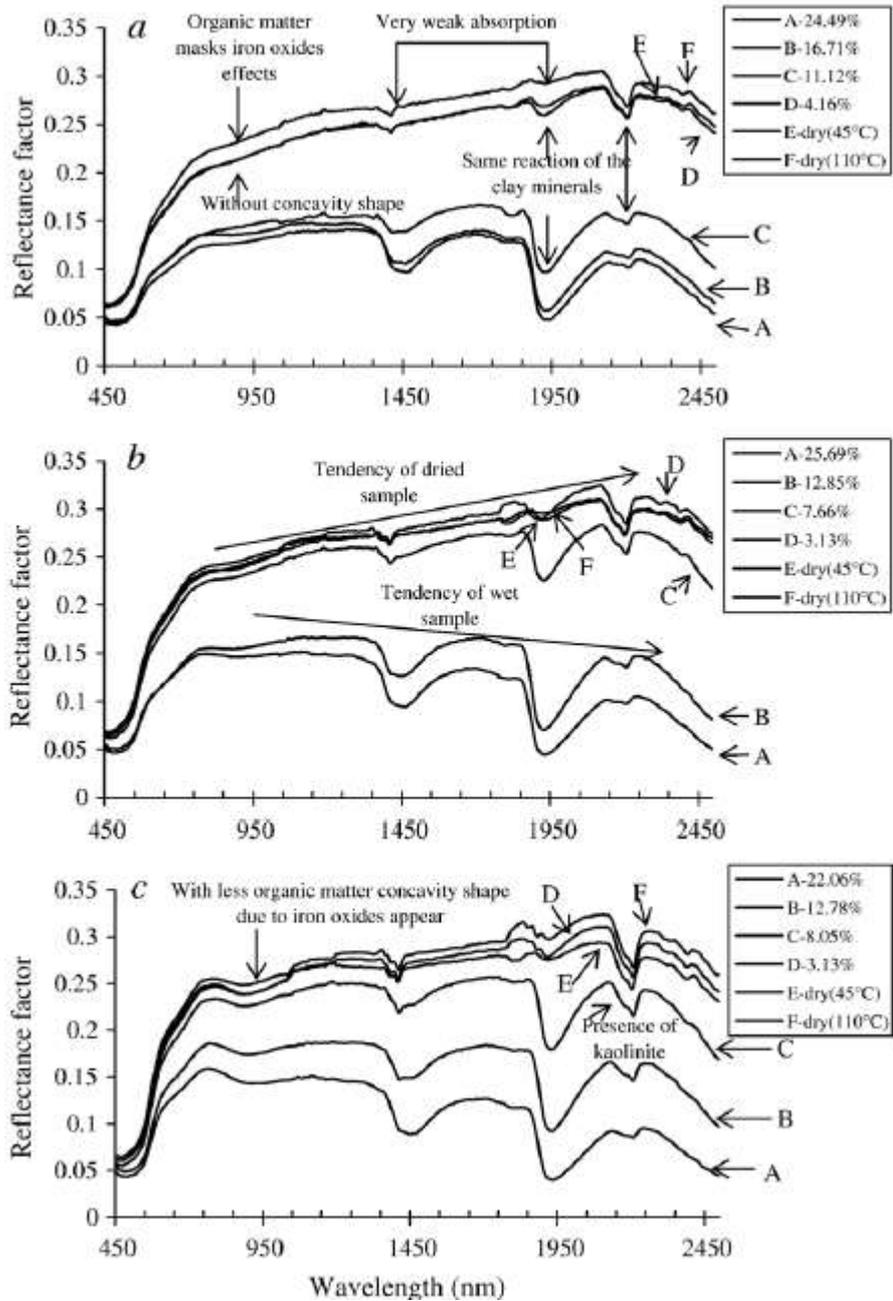
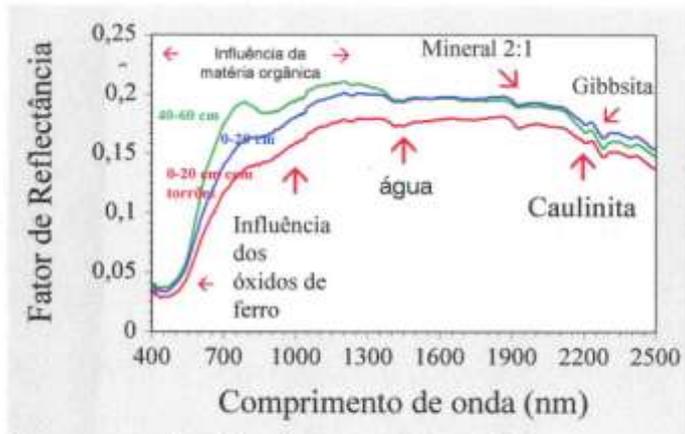


Figura 4.15 – Curvas espectrais de amostras de solo com diferentes umidades (Demattê, 2006)

g. Situação da superfície do solo

Superfícies mais rugosas causam a diminuição da intensidade de reflectância, conforme ilustração da figura 4.16.

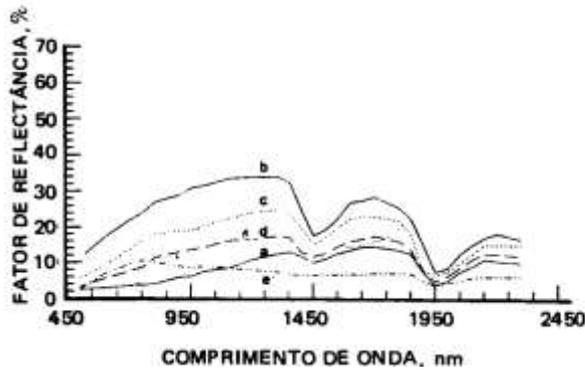


Curvas espectrais médias do Latossolo Bruno (LB).
LB1: amostras "preparadas" da camada de 0-20 cm
LB2: amostras "preparadas" da camada de 40-60 cm
LBN1: amostras "sem destorroar" da camada de 0-20 cm
Demattê & Garcia (1999)

Figura 4.16 – Efeito do estado da superfície da amostra sobre seu comportamento espectral (Demattê & Garcia, 1999). LB: Latossolo Bruno.

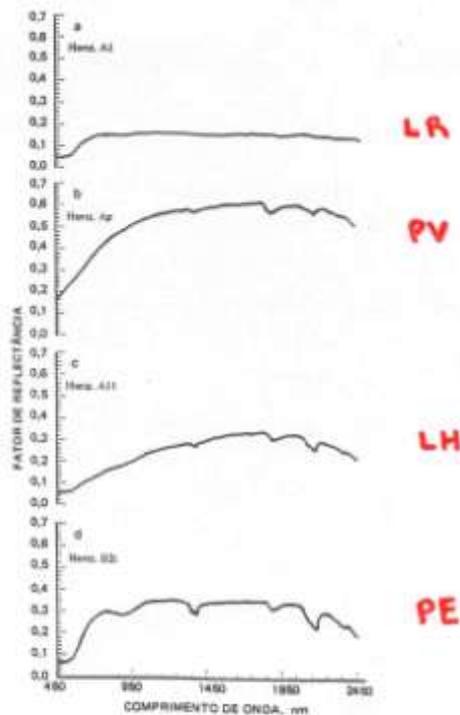
4.1.4 Principais tipos de curvas relacionadas a solos e curvas espectrais

Assim, autores nacionais e internacionais procuraram resumir os principais tipos de curvas existentes para solos, relacionado com as características dos solos. Stoner & Baumgardner (1981) fizeram este trabalho com solos americanos principalmente. No Brasil, o trabalho de Epiphânio et al. (1992) e posteriormente publicado por Formaggio et al. (1996) apresenta as principais curvas do estado de São Paulo. (figs 4.16 e 4.17.)



Curvas representativas de cinco padrões espectrais de solos minerais, segundo Stoner & Baumgardner (1981), sendo o respectivo comportamento espectral: (a) *dominado pela matéria orgânica* (representado por um solo com elevado conteúdo de matéria orgânica, textura moderadamente fina); (b) *minimamente alterado* (baixo teor de matéria orgânica, médio teor de óxidos de ferro); (c) *afetado por óxidos de ferro* (baixo teor de matéria orgânica e médio teor de óxidos de ferro); (d) *afetado por matéria orgânica* (elevado teor de matéria orgânica, textura moderadamente grosseira); e (e) *dominado por óxidos de ferro* (elevado teor de óxidos de ferro, textura fina).

Fig 4.16. Tipos de curvas segundo Stoner & Baumgardner (1981)



Curvas espectrais típicas do horizonte A1 de um Latossolo Roxo da região de Araras (SP) (a); curva espectral do horizonte "Ap" de um Podzólico Vermelho-Amarelo da região de Piracicaba (b); curva espectral do horizonte A11 de um Latossolo Húmico da região de Campinas (c); curva espectral do horizonte B2t de um Podzólico Vermelho-Escuro (PE) da região de Tietê (d). Fonte: Formaggio et al. (1996).

Figura 4.17 Curvas espectrais de diferentes classes de solos, Formaggio et al. (1996)

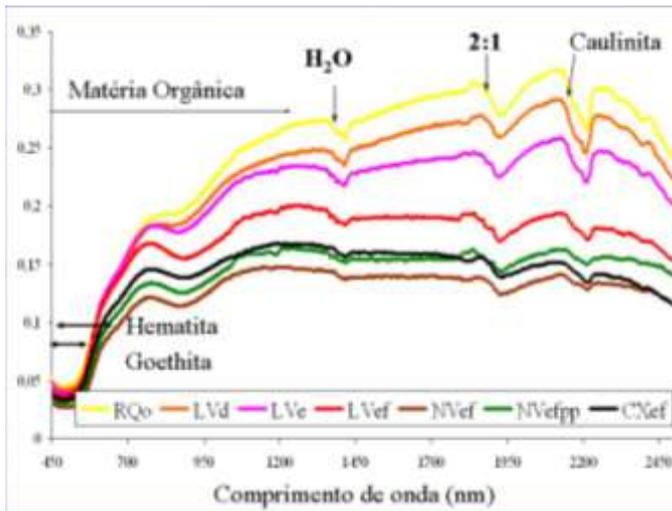


Figura 4.18 – Curvas espectrais de diferentes classes de solos (Fiorio, 2002).

4.2 Dados obtidos ao nível de satélite

Num satélite, colocado numa plataforma a aproximadamente 800 km de distancia da terra, também existem equipamentos sensores capazes de obter informações terrestres. Geralmente os dados obtidos nesse nível são menos detalhados, pois os equipamentos são diferentes ajustando-se as condições diferenciadas. Assim, um sensor colocado no nível orbital também obtém dados de reflectância, porém com menor numero de bandas. Enquanto os sensores terrestres conseguem obter entre 875 e 1500 bandas um sensor em satélite tem em torno de 7 a 18 bandas. Dado a isso as curvas espectrais comparativa entre os dois métodos de obtenção são diferentes. Porém, os conceitos fundamentias em sensoriamento remoto e fatores que influenciam os dados são os mesmos que os citados anteriormente. Some-se a estes os efeitos atmosféricos e de distância que alteram significativamente os sinais do satélite.

Todas as técnicas e conhecimentos descritos para as fotografias aéreas no reconhecimento de paisagens, valem para as imagens orbitais, com exceção da percepção estereoscópica (utilizada apenas em imagens do Spot). A diferença básica está na avaliação espectral em diferentes comprimentos de onda realizado pelas imagens.

A informação obtida por um satélite pode ser visualizada de diferentes formas: na forma de pixel, onde se observa a imagem (foto) (figura 4.19), na forma de curva espectral (composta pelas informações de todas as bandas de um mesmo pixel) (figura 4.20) e na forma quantitativa visualizada no painel.



Figura 4.19. Imagem de satélite

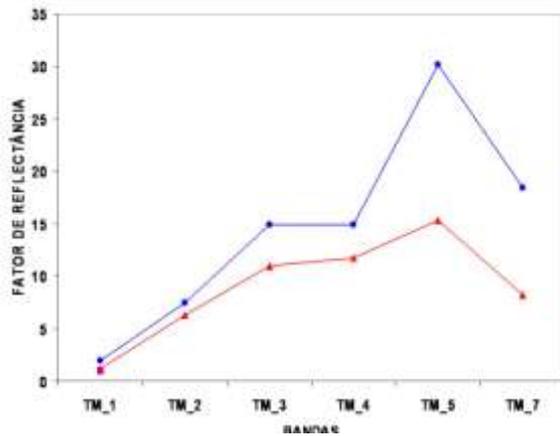


Figura 4.20 Exemplo de curva Espectral gerada pelo sensor do satélite Landsat (azul Neossolo Quartzarênico; Vermelho Latossolo Vermelho férrico).

4.3 Comparação do Comportamento espectral nos níveis orbital e terrestre

As imagens orbitais, devem ser processadas e transformados seus dados em reflectância. Portanto, todos os alvos poderão ser analisados em relação às suas características espectrais. A diferença básica com um sensor terrestre, é que a imagem pode avaliar grandes áreas. Além disso, existe uma série de fatores que influenciam os dados orbitais, como a distância do caminamento da radiação eletromagnética da fonte ao alvo ao sensor, as partículas atmosféricas, o CO₂, a situação da superfície, entre outros.

Outro ponto a considerar é a diferença entre os gráficos relacionando reflectância com os comprimentos de onda. O sensor TM do Landsat possui apenas 7 bandas. Portanto, o gráfico da curva espectral de um solo será significativamente diferente (Figura 4.21). Nesta figura observa-se a diferença entre solos argilosos e arenosos a nível orbital e terrestre.

Apesar disso, é possível avaliar, comparativamente, a situação do solo analisando dados orbitais como realizado por Labrandero et al. (1988).

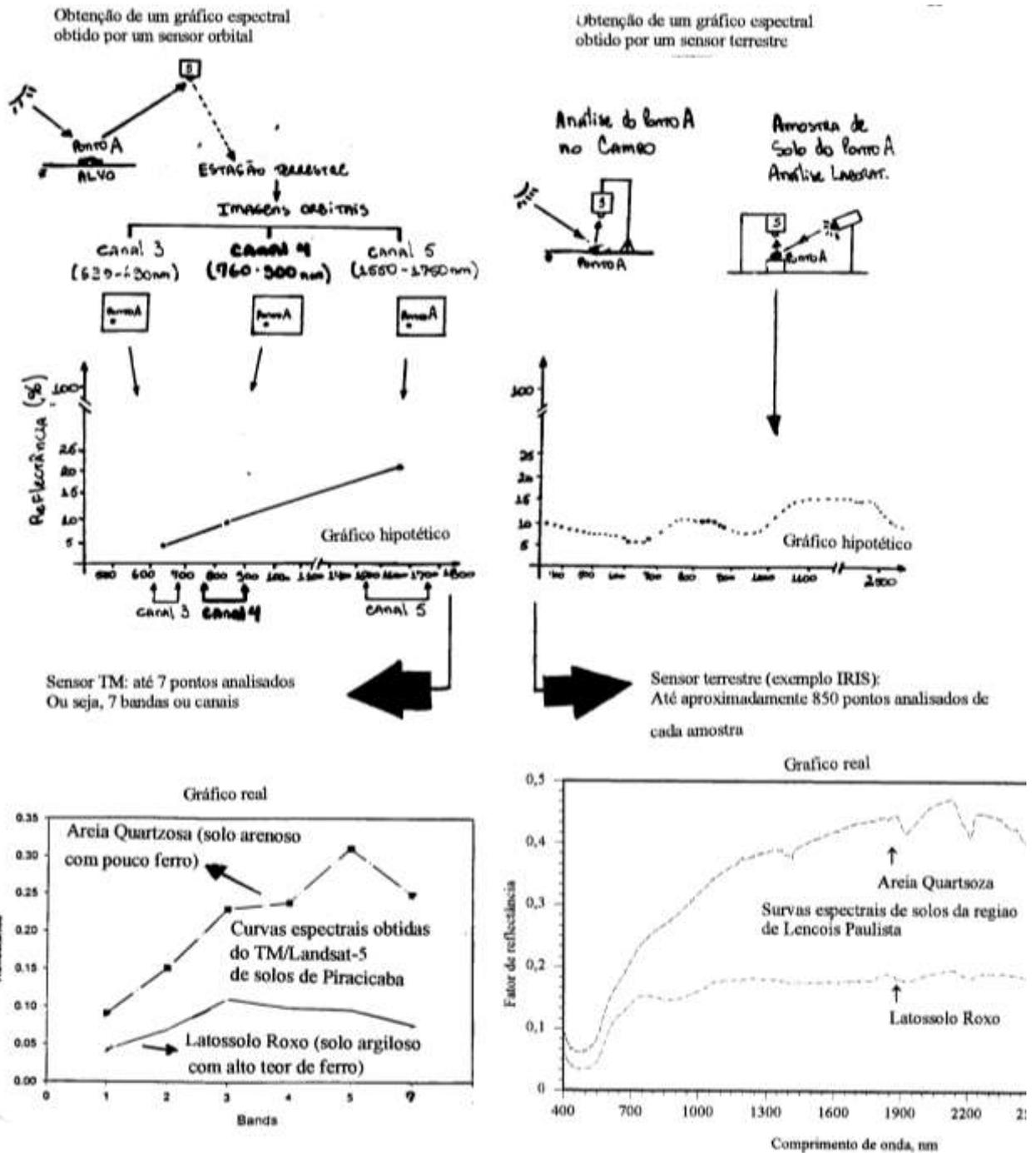


Figura 4.21 Comparação entre os gráficos obtidos pelo sensor orbital e terrestre de solos argilosos e arenosos da região de Piracicaba, SP. (dados extráidos de Demattê et al., 2000)

4.4 Época da imagens

A época para aquisição das imagens pode variar. Geralmente a melhor época é a de clima seco (inverno) pois ocorre menor interferência da umidade do solo na energia refletida, portanto, junho, a agosto. Entretanto, em regiões agrícolas, pode-se aliar a época mais seca com a de preparo do solo (pois fica exposto). nesse caso a melhor época ocorre entre agosto e setembro, podendo chegar até outubro.

5 Satélites principais

Os principais satélites para estudos ambientais até o momento são o Landsat e o Spot. O quadro 5.1 apresenta as características principais dos sensores instalados no Landsat.

Quadro 5.1. Características principais das imagens MSS e TM do LANDSAT-5.

Características	MSS	TM
Resolução espectral (μm)	banda 4: 0,5 - 0,6 banda 5: 0,6 - 0,7 banda 6: 0,7 - 0,8 banda 7: 0,8 - 1,1	banda 1: 0,45 - 0,52 banda 2: 0,52 - 0,60 banda 3: 0,63 - 0,69 banda 4: 0,76 - 0,90 banda 5: 1,55 - 1,75 banda 6: 10,40 - 12,75 banda 7: 2,08 - 2,35
Resolução espacial	79m x 79m	30m (banda 1 a 5 e 7), 120m (banda 6)
Resolução radiométrica	128 níveis de cinza	256 níveis de cinza
Dimensões de cada imagem	185km x 185km	185km x 185km
Número de pixels por imagem	7.722.000	38.020.000
Resolução temporal	16 dias	16 dias

O SPOT é equipado com dois sensores idênticos, porém independentes, chamados HRV (do francês "Haute Resolution Visible"). Este instrumento foi projetado para operar em dois modos, nas regiões do visível (modo Pancromático) e do infravermelho (modo Multiespectral) do espectro eletromagnético.

As principais vantagens dos produtos do sistema SPOT em relação ao TM/Landsat, são as seguintes: a) alta resolução espacial; TM/Landsat = 30 metros, SPOT multiespectral = 20 metros, SPOT pancromático = 10 metros; b) estereoscopia, somente no SPOT.

5.1 Características espectrais em diferentes bandas

O quadro 5.2 indica algumas das características de cada banda, extraídas de Vettorazzi (1991).

Quadro 5.2 Características e aplicações das bands do TM/Landsat.

<i>Banda 1 (450 – 520 nm)</i>
Apresenta grande penetração em corpos d'água com elevada transparência; sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos.
<i>Banda 2 (520 a 600 nm)</i>
Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão possibilitando sua análise em termos quantitativos e qualitativos
<i>Banda 3 (630 a 690 nm)</i>
Grande absorção da radiação dessa faixa espectral pela vegetação verde, densa e uniforme, aparecendo escura nas imagens; permite discriminação entre diferentes tipos de vegetação; permite análise da variação litológica; permite o mapeamento da rede de drenagem através da visualização da mata ciliar; delimita áreas urbanas
<i>Banda 4 (760 a 900 nm)</i>
Os corpos d'água absorvem muita energia e aparecem escuros nas imagens, permitindo o mapeamento da rede de drenagem; a vegetação densa, verde e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo clara; permite informações sobre formações geológicas.
<i>Banda 5 (1550 a 1750 nm)</i>
Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico.
<i>Banda 6 (10400 a 12500 nm)</i>
Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
<i>Banda 7 (2080 a 2350 nm)</i>
Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno permitindo obter informações sobre geomorfologia, solos e geologia; permite a identificação de minerais com íons hidroxilas.

5.2 Outros satélites e características

Satélite IKONOS II

O satélite Ikonos II dos Estados Unidos possui uma alta resolução espacial, com possibilidade de combinação de imagens preto e branco (gray scale) com dados multiespectrais para a geração de imagens coloridas com 1m de resolução, grande quantidade de informação disponível, facilidade para interpretação visual.

Órbita Sentido da órbita: Descendente; Duração da órbita: 98 minutos

País / Região Estados Unidos

Missão Foguete: Athena II; Local de lançamento: Vandenberg Air Force Base, California /USA

Resolução no terreno de cada banda

Pancromática: 1m (considerando posição nominal de 26° fora do nadir)

Multiespectral: 4m (considerando posição nominal de 26° fora do nadir) i

Bandas espectrais:

0.45 a 0.90 μ (pan)

Azul 0.45 - 0.52 μ

Verde 0.52 - 0.60 μ

Vermelho 0.63 - 0.69 μ

Infra vermelho próximo 0.76 - 0.90 μ

Tamanho das cenas sugeridos:

Faixas de 11km x 100km até 11km x 1000km

Faixa de imageamento: 13km no nadir (cena simples 13km x 13km)

Tempo de Revisita

2.9 dias (pan); 1.5 dia (multiespectral)

Principais Aplicações

Projetos de GIS (redes, telecomunicações, planejamento, meio ambiente)

Base para elaboração de Mapas Urbanos Básicos

Elaboração/atualização de mapas de arruamentos e cadastro

Mapeamento de cadastro urbano e rural

Fonte de apoio para trabalhos com GPS

Uso e ocupação do solo

Meio Ambiente

Arquitetura/Urbanismo/Paisagismo

Legal (regularização de propriedades, demarcação de pequenas glebas)

Engenharia

Agricultura (com ênfase em previsão de safras, e controle de pragas)

Agricultura de Precisão

Florestal (estimativa de potencial econômico, projetos de desenvolvimento sustentável, censo de árvores)

Turismo

Satélite Aster

O ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) é um dos Instrumentos a bordo do satélite EOS AM-1 e obtém imagens de alta resolução (15 a 90 m) da Terra nas regiões dos espectros: Visível; Infravermelho Próximo (VNIR); Infravermelho médio (SWIR) Infravermelho Térmico (TIR)

Bandas Espectrais

VNIR

SWIR

TIR

0.5-0.9 μ m

1.6-2.5 μ m

8-12 μ m

Resolução Espacial

15 m (VNIR: 3 bandas),
30 m (SWIR: 6 bandas),
90 m (TIR: 5 bandas)

Principais Aplicações

Produto para interpretação de uso e ocupação dos solos, estudos de vegetação, stress hídrico e meio ambiente

Satélite CBERS

Programa CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres), agrega a capacidade técnica e os recursos financeiros da China e do Brasil

Órbita

O satélite cruza a linha do Equador sempre na mesma hora local (10h 30min em nó descendente),

permitindo que se tenha condições semelhantes de iluminação solar para a comparação das imagens tomadas em diferentes dias. Apresenta período nodal de 100,26 minutos e recobrimento de 26 dias.

Os três sensores imageadores a bordo são:

O imageador de largo campo de visada WFI, que abrange uma faixa de 890 Km de largura e fornece uma visão sinótica com resolução de 260 m. Obtém-se uma cobertura completa do

globo em duas faixas espectrais: 0,66 μ m (verde) e 0,83 μ m (infravermelho próximo).

A câmera CCD de alta resolução fornece imagens em uma faixa de 113 Km de largura com resolução de 20 m. Esta câmera tem a possibilidade de obtenção de imagens estereoscópicas de uma certa região.

A câmera de varredura no infravermelho IR-MSS apresenta 4 faixas espectrais e estende o espectro de observação do CBERS até o infravermelho termal.

Produz imagens de uma faixa de 120 Km de largura com resolução de 80 m (160 no canal termal). Em 26 dias, obtém-se uma cobertura completa da Terra que pode ser correlacionada com aquela obtida através da câmera CCD.

PARÂMETROS DOS IMAGEADORES			
	CCD	IR-MSS	WFI
Bandas (μ m)	0,51 - 0,73 (pan) 0,45 - 0,52 0,52 - 0,59 0,63 - 0,69 0,77 - 0,89	0,50 - 1,10 (pan) 1,55 - 1,75 2,08 - 2,35 10,40 - 12,50	0,63 - 0,69 0,76 - 0,90
Resolução espacial (m)	20	80 (pan e IV) 160 (termal)	260
Resolução temporal	Nadir: 26 dias 3 dias ($\pm 32^\circ$)	26 dias	3 - 5 dias
Campo de visada	8,3°	8,8°	60°
Largura da visada no solo	120Km	120 Km	900Km
Frequência do sinal de rastreamento	8196 MHz	8196 MHz	8196 MHz
Frequência da portadora de RF	8103 & 8321 MHz	8216,84 MHz	8203,35 MHz
Taxa de dados da imagem	2 x 53 Mbits/s	6,13 Mbits/s	1,1 Mbits/s
EIRP	43 dBm	39,2dBm	31,8dBm

Principais Aplicações

Impacto das atividades humanas sobre o meio ambiente
 Monitoramento de fenômenos naturais
 Acompanhamento do uso agrícola das terras
 Apoio ao monitoramento de áreas de preservação
 Atividades energético-mineradoras
 Cartografia e atualização de mapas
 Desmatamentos
 Detecção de invasões em áreas indígenas
 Dinâmica de urbanização
 Estimativas de fitomassa
 Monitoramento da cobertura vegetal
 Queimadas
 Secas e inundações
 Sedimentos em suspensão nos rios e estuários
 Meteorologia e agrometeorologia

Satélite QuickBird

O QuickBird é um satélite dos Estados Unidos desenvolvido pela empresa norte americana EarthWatch. Esse satélite apresentará alta resolução espacial de menos de um metro no

pancromático e de cerca de três metros no multiespectral, será capaz de gerar imagens estereoscópicas e terá uma resolução espacial de dois a três dias. O QuickBird, dará continuidade ao EarlyBird, e será dedicado ao monitoramento de fenômenos que demandam estas características simultâneas de alta resolução temporal e espacial. Ele será capaz de gerar imagens de 484 km² até 40.500 km².

Órbita

Polar heliosíncrona. Com altitude aproximada de 600 Km e 52o de inclinação média orbital, este satélite revisita o mesmo local no período de 1 a 4 dias, dependendo da latitude.

Características do sensor Sensor pancromático Sensor multispectral

Tamanho da imagem 22 km x 22 km 22 km x 22 km por área

Tamanho do pixel 0,82 m (GSD no nadir) 3,2 m (GSD no nadir)

Sensor Pushbroom Linear Array Pushbroom Linear Array

Comprimento de ondas Pan

450 a 900 nm Azul - 450 a 520 nm

Verde - 520 a 600 nm

Vermelho - 630 a 690 nm

Infravermelho Próximo - 760 a 900 nm

Principais Aplicações

Monitoramento de fenômenos que demandam alta resolução espacial

PRINCIPAIS SATÉLITES E SUAS CARACTERÍSTICAS

Satélite	Sensores	Bandas	Resolução Espectral (µm)	Resolução Espacial (m)	
CBERS - 2	Câmara CCD	Pancromática	0,51 – 0,73	20	
		Azul	0,45 – 0,52		
		Verde	0,52 – 0,59		
		Vermelho	0,63 – 0,69		
		Infravermelho Próximo	0,77 – 0,89		
	IRMSS	Pancromática	0,50 – 1,10	80	
		Infravermelho Médio	1,55 – 1,75		
		Infravermelho Médio	2,08 – 2,35		
	WFI	Infravermelho Termal	10,40 – 12,50	160	
		Vermelho	0,63 – 0,69	260	
		Infravermelho Próximo	0,77 – 0,89		
	IKONOS - II	Pancromático	Pan	0,45 – 0,90	1
Multiespectral		Azul	0,45 – 0,52	4	
		Verde	0,52 – 0,60		
		Vermelho	0,63 – 0,69		
		Infravermelho Próximo	0,76 – 0,90		
QUICKBIRD - 2	Quickbird	Pancromática	0,45 – 0,90	0,61 – 0,72	
		Multiespectral (visível)	0,45 – 0,52	2,4 – 2,8	
			0,52 – 0,60		
LANDSAT - 7	MSS	1	0,5 – 0,6	80	
		2	0,6 – 0,7		
		3	0,7 – 0,8		
		4	0,8 – 1,1		
	ETM+	1	0,45 – 0,52	30	
		2	0,50 – 0,60		
		3	0,63 – 0,69		
		4	0,76 – 0,90		
		5	1,55 – 1,75		
		6	10,4 – 12,5		60
		7	2,08 – 2,35		30
8	0,50 – 0,90	15			
SPOT - 5	HRG	Pa e Supermode	0,48 – 0,71	5	
		B1	0,50 – 0,59	10	
		B2	0,61 – 0,68		
	B3	0,78 – 0,89			
	HRS	SWIR	1,58 – 1,75	10	
		PA	0,49 – 0,69		
VEGETATION - 2	VEGETATION - 2	B0	0,43 – 0,47	1000	
		B2	0,61 – 0,68		
		B3	0,78 – 0,69		
		MIR	1,58 – 1,75		

Continuação...

Satélite	Sensores	Bandas	Resolução Espectral (µm)	Resolução Espacial (m)
TERRA (EOS)	ASTER	VNIR (3 bandas)	0,5 – 0,9	15
		SWIR (6 bandas)	1,6 – 2,5	30
		TIR (5 bandas)	8 - 12	90
		1	0,62 – 0,67	250
		2	0,841 – 0,876	
		3	0,459 – 0,479	500
		4	0,545 – 0,565	
	5	1,230 – 1,250		
	6	1,628 – 1,652		
	7	2,105 – 2,155		
	MODIS	8	0,405 – 0,420	1000
		9	0,438 – 0,448	
		10	0,483 – 0,493	
		11	0,526 – 0,536	
		12	0,546 – 0,556	
		13	0,662 – 0,672	
		14	0,673 – 0,683	
		15	0,743 – 0,753	
		16	0,862 – 0,877	
		17	0,890 – 0,920	
		18	0,931 – 0,941	
		19	0,915 – 0,965	
		20	3,660 – 3,840	
		21 e 22	3,929 – 3,989	
		23	4,020 – 4,080	
		24	4,433 – 4,498	
		25	4,482 – 4,549	
		26	1,360 – 1,390	
		27	6,535 – 6,895	
		28	7,175 – 7,475	
		29	8,400 – 8,700	
		30	9,580 – 9,880	
		31	10,780 – 11,280	
		32	11,770 – 12,270	
		33	13,185 – 13,485	
		34	13,485 – 13,785	
35		13,785 – 14,085		
36		14,085 – 14,385		

Fonte: Embrapa Monitoramento por Satélite - <http://www.sat.cnpm.embrapa.br/texto/princ.html>.



Figura 5.1 – Ilustração de diferentes satélites usados em estudos de recursos naturais (Moreira, 2005)

5.3 Sensores multiespectrais e hiperespectrais: Nomenclatura

Recentemente devido aos avanços tecnológicos sensores de alta resolução espectral orbitais ou acoplados a aviões tem sido desenvolvidos. A diferença entre os sensores multiespectrais para os hiperespectrais são de maneira geral o número de bandas maior e a faixa dessas bandas ser menor, um sensor multiespectral quando muito apresenta 12 a 18 bandas com intervalo em geral maior que 50 nm já sensores hiperespectrais apresentam mais de cem ou duzentas bandas de intervalo menor (10nm por exemplo)

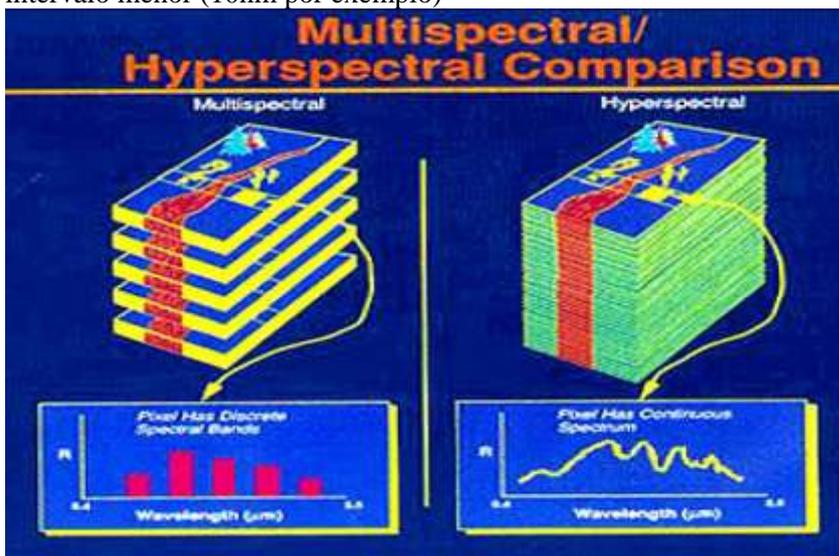


Figura 5.2 – Ilustração comparando o número de bandas e curva espectral de um sensor multiespectral e um sensor hiperespectral (Zullo Jr, 2007)

Exemplos:

Recentes avanços na tecnologia de sensores têm demonstrado sua importância ao obter a radiância com alta resolução espectral para cada posição (pixel). Um exemplo refere-se ao Airborne Visible/Infrared Imaging Spectroradiometer - AVIRIS. Tal instrumento obtém imagens espectrais da radiação refletida no intervalo entre 400 e 2500 nm com resolução aproximada de 10 nm e 224 bandas. Com isso, é esperado que tal detalhamento espectral permitirá a identificação de rochas, solos e vegetação, considerando-se que a resolução espacial seja suficiente para representar cada tipo de superfície para cada dado espectral. A mistura espectral aumenta a complicação, pois um pode explorar a possibilidade de identificação individual dos componentes que misturam o sinal vindo de diversas superfícies. Entretanto, os dados do AVIRIS continuam muito restritos, tendo-se em contrapartida farta disposição dos dados do Landsat.

5.4 Imagens de radar

O radar é um sensor ativo, que opera na faixa de rádio ou microondas. O termo "radar" é proveniente de "Radio detection and Ranging", que pode ser traduzido como Detecção e Localização por ondas de Rádio. O exemplo mais comum deste sistema, para o sensoriamento remoto, é o Radar de Visada Lateral (do inglês "Sideways-Looking Airborne Radar" - SLAR), usado inclusive pelo Projeto RADAMBRASIL para o imageamento do território brasileiro.

Uma das vantagens oferecidas pelo sistema de radar é a de que, sendo um sensor ativo, pode operar à noite. Porém, a vantagem mais importante é a de poder ser operado praticamente sob qualquer condição atmosférica e avaliar a superfície do terreno. neste aspecto encontra-se a grande vantagem deste produto, pois facilita a visualização do relevo que pode ser relacionado a solos como visto anteriormente.



Figura 5.3 Exemplo de imagem de radar

6. O Sistema de informação Geográfico (SIG)

Os sistemas de informação geográficos são softwares gerenciadores de informações como solos, clima, culturas, topografia, geologia. Estas informações podem ser armazenadas, e que, por sua vez, aliado aos objetivos do usuário, irá gerenciar, cruzar informações e obter um novo produto.

Outro aspecto importante da análise multiespectral, é a que possibilita a interpretação através de computadores, seja para análise direta dos dados digitalizados armazenados em fitas magnéticas, originados dos imageadores multiespectrais, ou pela transformação da imagem fotográfica em níveis de cinza numéricos através de densitômetros.

O principal método de interpretação de imagens através de computadores, é a técnica supervisionada, na qual se fornece ao computador as características espectrais de amostras de treinamento, referentes à categoria de interesse.

Neste sistema, o computador é alimentado com fitas magnéticas, contendo as imagens na forma de números proporcionais à resposta espectral de cada ponto do terreno imageado através de cada sensor.

Acoplado ao computador, temos uma tela de vídeo que nos mostra a transformação dos dados numéricos, em uma imagem de TV para cada sensor utilizado.

A interação do homem com o computador, é feita através de um cursor que pode ser deslocado na tela do vídeo e um teclado de comando. Localizando o cursor em alguns pontos de características conhecidas, temos o que se denomina de amostras de treinamento, a partir das quais o computador fica conhecendo as respostas espectrais armazenadas nas fitas, naqueles pontos.

Se por exemplo, essas amostras se referem à cultura de milho, por extrapolação o computador irá classificar como milho todos os pontos da imagem com características espectrais semelhantes. Se programarmos a cor amarela para o milho, a imagem do vídeo mostrará mapeadas todos os pontos com cor amarela, a partir de apenas alguns pontos de treinamento conhecidos. (Koffler, 1992).

A figura 6.1 ilustra o assunto.

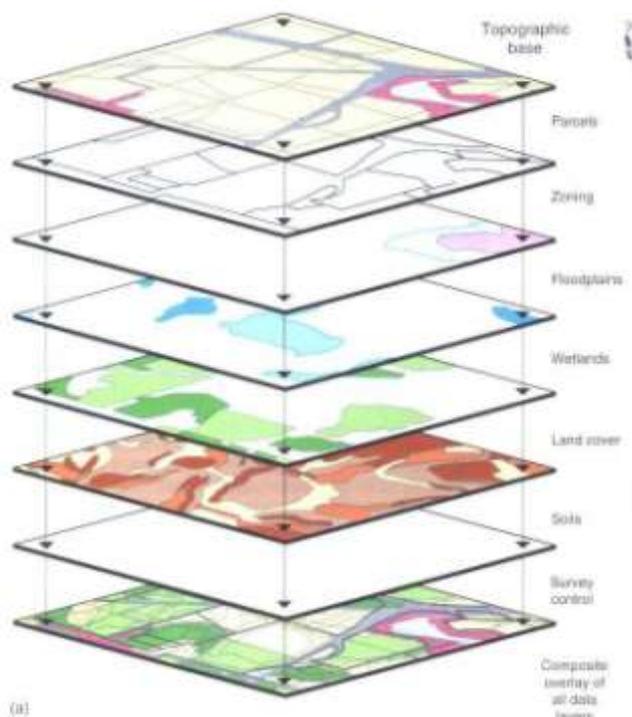


Figura 6.1 Diagrama esquemático mostrando um SIG generalizado e os modelos dos planos de informação de um SIG (Fonte: GEOSYSTEMS,..)

7. Global Positioning System (GPS)

- Equipamentos de campo que passam um sinal para o satélite, sendo retransmitido para uma base em terra, que armazena os dados com a latitude e a longitude do ponto.
- Permite coletar amostras pontuais de solos e marcar posição de problemas com as culturas
- Quando instalado em maquinários agrícolas, permite a visualização de sua movimentação, que auxiliado por banco de dados numa estação não móvel, pode saber as características e propriedades dos solos em que está trabalhando.
- O GPS é o elo de ligação entre as informações referenciadas tanto dos dados de campo, como dos dados de sensoriamento remoto com o SIG.

Exercícios em aula
Prática

1. interpretação do uso e mapeamento de solos em imagens de baixa resolução

Interpretação de imagens de satélite para fins de reconhecimento de solo.

Na área de interesse:

- identifique 8 objetos
- trace a rede de drenagem
- delimite as unidades de paisagem
- indique quais são os prováveis solos
- compare no mapa de solos da região.

2. Caracterização de objetos e usos da terra. Para isso utilize as imagens de alta resolução fornecidas em aula.

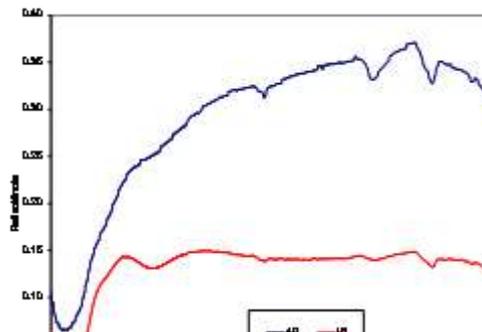
1. Para caracterizar cada uso da terra, utilize a foto indicada de acordo com a região:

Características	Região/Uso				
	cana-de-açúcar	cultura anual	mata	reflorestamento	pastagem
1 Textura					
2 Tonalidade					
3 Porte					
4 Aspectos associados					

- 1 Textura: grosseira (rugosa), média (média), fina (lisa)
- 2 Tonalidade: branco, cinza claro, cinza médio, cinza escuro, preto.
- 3 Porte: alto, médio, baixo, muito baixo
- 4 Aspecto retilíneo, presença de carreadores, outros

Exercício Extra

1. Defina sensoriamento remoto.
2. O que é um sensor?
3. Quais os componentes básicos do sistema de sensoriamento remoto?
4. O que ocorre com a energia radiante que incide sobre um objeto?
5. O olho humano é um sensor que capta informações de que faixa do espectro óptico?
6. Qual o tipo de informação mais importante estudada em sensoriamento remoto?
7. Onde pode ser instalado um equipamento sensor?
8. Quais são os elementos das análises de imagens?
9. Quais os fatores do solo que influenciam os dados espectrais?
10. Se você tiver dois solos iguais, porém, com teores de matéria orgânica diferentes, haverá diferenças na energia refletida por eles? Como?
11. Se você tiver um solo muito argiloso e um arenoso, qual deverá refletir mais? Por que?
12. A seguir temos duas curvas espectrais de dois solos distintos (solo A e solo B). na própria figura indique a característica que se refere a mineralogia (caulinita, gibbsita, óxidos), textura. Qual solo apresenta maior teor de material que absorve energia como a magnetita? Qual solo tem mais quartzo? Por que?



13. Diferencie sensoriamento remoto e sistema de informação geográfico.
14. Cite as técnicas de sensoriamento remoto que podem auxiliar num planejamento agrícola.
15. Como as fotografias aéreas podem auxiliar num planejamento?
16. Como as imagens orbitais podem ser úteis no monitoramento ambiental?
17. Quais as vantagens e desvantagens da utilização do sensoriamento remoto num planejamento agrícola?
18. O que é um sistema de informação geográfico? Como ele pode ser útil na determinação da capacidade de uso das terras?
19. O que é um GPS? Como ele pode ser útil num levantamento de solos?

Leitura de artigo científico e resumo crítico.