

Especialização Técnica Aplicada ao Georreferenciamento

Sensoriamento Remoto e Aplicações em Cartografia Temática



SENSORIAMENTO REMOTO E APLICA- ÇÕES EM CARTO- GRAFIA TEMÁTICA



Ficha Técnica

Elaboração - Brunna Francinete da Silva Cruz

Capa / Diagramação - Gabriel Araújo Galvão

Diretor Pedagógico - Edilvo de Sousa Santos



Índice

Sensoriamento Remoto	05
O Espectro Eletromagnético	06
Atenuação Atmosférica.....	07
Composição Espectral de Objetivos Naturais	10
Sistema Sensor	11
Níveis de Aquisição de Dados.....	12
Principais Características das Imagens Sensoriamento Remoto	13
Alguns Sistemas Sensores e Resoluções.....	14
Comportamento Espectral	17
Comportamento Espectral de Alvos	18
Sistema Mundial de Referência (World Reference System)	22
Interpretação de Imagens.....	23
Processamento de Imagens	27
Análise Ambiental.....	29
Exemplos de Aplicação de Tecnologias de Aquisição de Dados para os Diferentes Estudos e Escalas.....	29
Referências Bibliográficas.....	31

1. Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto pode ser entendido como um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com os mesmos. Estas atividades envolvem a detecção, aquisição e análise (interpretação e extração de informações) da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos.

A energia eletromagnética utilizada na obtenção dos dados por sensoriamento remoto é também denominada de radiação eletromagnética. A quantidade e qualidade da energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres resulta das interações entre a energia eletromagnética e estes objetos. Essas interações são determinadas pelas propriedades físicoquímicas e biológicas desses objetos e podem ser identificadas nas imagens e nos dados de sensores remotos. Portanto, a energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres é a base de dados para todo o processo de sua identificação, pois ela permite quantificar a energia espectral refletida e/ou emitida por estes, e assim avaliar suas principais características. Logo os sensores remotos são ferramentas indispensáveis para a realização de inventários, de mapeamento e de monitoramento de recursos naturais.

1.1 RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

A energia eletromagnética é emitida por qualquer corpo que possua temperatura acima de zero grau absoluto (0 Kelvin). Desta maneira, todo corpo com uma temperatura absoluta acima de zero pode ser considerado como uma fonte de energia eletromagnética. O Sol e a Terra são as duas principais fontes naturais de energia eletromagnética utilizadas no sensoriamento remoto da superfície terrestre. A energia eletromagnética não precisa de um meio material para se propagar, sendo definida como uma energia que se move na forma de ondas eletromagnéticas à velocidade da luz ($c = 300.000 \text{ Km/s}$, onde "c" é a velocidade da luz.). A distância entre dois pontos semelhantes, como mostra a Figura 1, define o comprimento de onda e, o número de ondas que passa por um ponto do espaço num determinado intervalo de tempo, define a frequência da radiação eletromagnética.

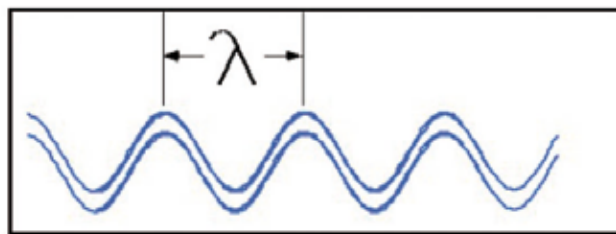


Figura 1 – Comprimento de onda

Dado que a velocidade de propagação das ondas eletromagnética é diretamente proporcional à sua frequência e comprimento de onda, esta pode ser expressa por: $c = f \cdot \lambda$

onde:

c = velocidade da luz (m/s)

f = frequência (ciclo/s ou Hz)

λ = comprimento de onda (m)

A quantidade de energia (Q) emitida, transferida ou recebida na forma de energia eletromagnética, está associada a cada comprimento de onda ou frequência e é definida por:

$$Q = h \cdot f = \frac{h}{\lambda}$$

Onde h é a constante de Planck ($6,625 \cdot 10^{-34}$ joule segundo (J.s)) e a unidade que quantifica esta energia é dada em Joule (J). Através desta equação verifica-se que quanto maior a quantidade de energia maior será a frequência ou menor será o comprimento de onda a ela associada e vice-versa. Devido a ordem de grandeza destas variáveis é comum utilizar unidades submúltiplas do metro (micrometro: $1 \mu\text{m} = 10^{-6}$ m, nanometro: $1 \text{ nm} = 10^{-9}$ m) para comprimento de onda e múltiplas do Hertz (quilohertz: $1 \text{ kHz} = 10^3$ Hz, megahertz: $1 \text{ MHz} = 10^6$ Hz) para frequência.

2. O Espectro Eletromagnético

A energia eletromagnética pode ser ordenada de maneira contínua em função de seu comprimento de onda ou de sua frequência, sendo esta disposição denominada de espectro eletromagnético. Este apresenta subdivisões de acordo com as características de cada região. Cada subdivisão é função do tipo de processo físico que dá origem a energia eletromagnética, do tipo de interação que ocorre entre a radiação e o objeto sobre o qual esta incide, e da transparência da atmosfera em relação à radiação eletromagnética. O espectro eletromagnético se estende desde comprimentos de onda muito curtos associados aos raios cósmicos, até as ondas de rádio de baixa frequência e grandes comprimentos de onda, como mostra a Figura 2. A medida que se avança para a direita do espectro eletromagnético as ondas apresentam maiores comprimentos de onda e menores frequências. A faixa espectral mais utilizada em sensoriamento remoto estende-se de $0,3 \mu\text{m}$ a $15 \mu\text{m}$, embora a faixa de microondas também é utilizada.

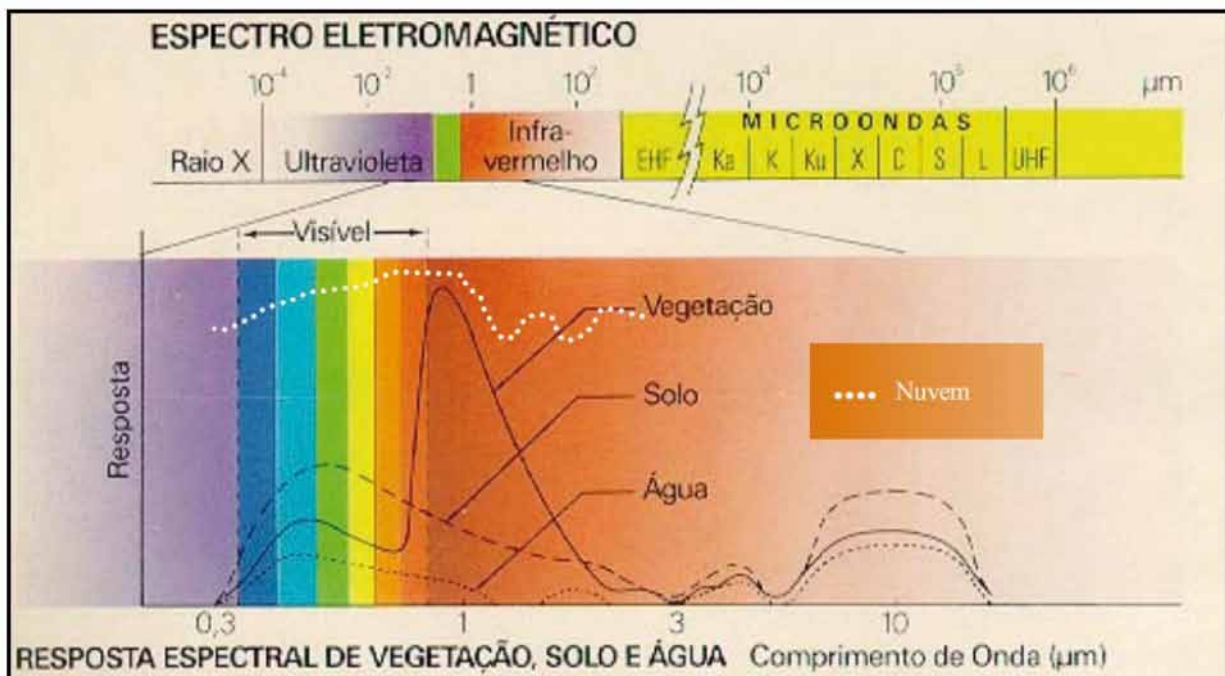


Figura 2. O espectro eletromagnético.

Podem-se observar na Figura 2 a existência das seguintes regiões:

- Radiação Gama: é emitida por materiais radioativo e, por ser muito penetrante (alta energia), tem aplicações em medicina (radioterapia) e em processos industriais (radiografia industrial).
- Raio X: é produzido através do freamento de elétrons de grande energia eletromagnética. Seu médio poder de penetração o torna adequado para uso médico (raio X) e industrial (técnicas de controle industrial).
- Ultravioleta (UV): é produzida em grande quantidade pelo Sol, sendo emitida na faixa de $0,003 \mu\text{m}$ até aproximadamente $0,38 \mu\text{m}$. Seu poder de penetração a torna nociva aos seres vivos, porém esta energia eletromagnética é praticamente toda absorvida pela camada de ozônio atmosférico.
- Visível (LUZ): é o conjunto de radiações eletromagnéticas que podem ser detectadas pelo sistema visual humano. A sensação de cor que é produzida pela luz está associada a diferentes comprimentos de ondas. As cores estão associadas aos seguintes intervalos espectrais.

Violeta: 0,38 a 0,45 μm
 Azul: 0,45 a 0,49 μm
 Verde: 0,49 a 0,58 μm
 Amarelo: 0,58 a 0,6 μm
 Laranja: 0,6 a 0,62 μm
 Vermelho: 0,62 a 0,70 μm

• Infravermelho (IV): é a região do espectro que se estende de 0,7 a 1000 μm e costuma ser dividida em três sub-regiões:

IV próximo: 0,7 a 1,3 μm
 IV médio: 1,3 a 6 μm
 IV distante: 6 a 1000 μm

A energia eletromagnética no intervalo espectral correspondente ao infravermelho próximo é encontrada no fluxo solar ou mesmo em fontes convencionais de iluminação (lâmpadas incandescentes), enquanto as energias eletromagnéticas correspondentes ao intervalo espectral do infravermelho médio e distante (também denominadas de radiação termal) são provenientes da emissão eletromagnética de objetos terrestres.

- Microondas: são radiações eletromagnéticas produzidas por sistemas eletrônicos (osciladores) e se estendem pela região do espectro de 1mm até cerca de 1m, o que corresponde ao intervalo de frequência de 300GHz a 300MHz. Os feixes de microondas são emitidos e detectados pelos sistemas de radar (radio detection and ranging).
- Radio: é o conjunto de energias de frequência menor que 300MHz (comprimento de onda maior que 1m). Estas ondas são utilizadas principalmente em telecomunicações e radiodifusão.

Algumas regiões do espectro eletromagnético têm denominações que indicam alguma propriedade especial, como por exemplo:

- Espectro óptico: refere-se à região do espectro eletromagnético que compreende as energias que podem ser coletadas por sistemas ópticos (ultravioleta, visível e infravermelho).
- Espectro solar: refere-se à região espectral que compreende os tipos de energia emitidas pelo Sol. Cerca de 99% da energia solar que atinge a Terra encontra-se concentrada na faixa de 0,28 a 4 μm .
- Espectro visível: refere-se ao conjunto das energias eletromagnéticas percebido pelo sistema visual humano, também denominado de luz.
- Espectro termal: refere-se ao conjunto das energias eletromagnéticas emitidas pelos objetos terrestres e encontra-se nos intervalos espectrais correspondente ao infravermelho médio e distante.

Quando consideramos o Sol como fonte de energia eletromagnética (ou fonte de iluminação) os sensores detectam a energia refletida pelos objetos terrestres, portanto o sensoriamento remoto é realizado na faixa do espectro solar. Quando a Terra atua como fonte de energia eletromagnética os sensores detectam a energia emitida pelos corpos terrestres, portanto o sensoriamento remoto é realizado na faixa do espectro termal. Esta distinção torna possível o tratamento separado desses dois tipos de energia eletromagnética, facilitando a análise da energia radiante.

3. Atenuação Atmosférica

A energia eletromagnética ao atravessar atmosfera terrestre pode ser absorvida, refletida e espalhada. Os gases presentes na atmosfera apresentam capacidade de absorção muito variáveis em relação ao comprimento de onda da energia solar incidente no sistema terra-atmosfera e da energia emitida pela superfície terrestre. Existem regiões do espectro eletromagnético para os quais a atmosfera absorve muito da energia incidente no topo da atmosfera, às vezes não deixando chegar quase nada de energia na superfície terrestre. Esta interação da energia com a atmosfera pode ser comparada com uma cortina que age como um filtro e, dependendo de seu tecido, atenua ou até mesmo impede a passagem da luz. Neste caso os diferentes tipos de tecidos da cortina poderia ser comparado com os diferentes

gases existentes na atmosfera terrestre, os quais atenuam a energia eletromagnética diferentemente.

A Figura 3 mostra a distribuição do espectro de energia eletromagnética do Sol no topo da atmosfera e na superfície terrestre observada ao nível do mar. As áreas sombreadas representam as absorções devido aos diversos gases presentes numa atmosfera limpa. Os principais gases absorvedores da radiação eletromagnética são vapor d'água (H_2O), oxigênio (O_2), ozônio (O_3) e gás carbônico (CO_2). Os gases CO , CH_4 , NO e N_2O ocorrem em pequenas quantidades e também exibem espectros de absorção.

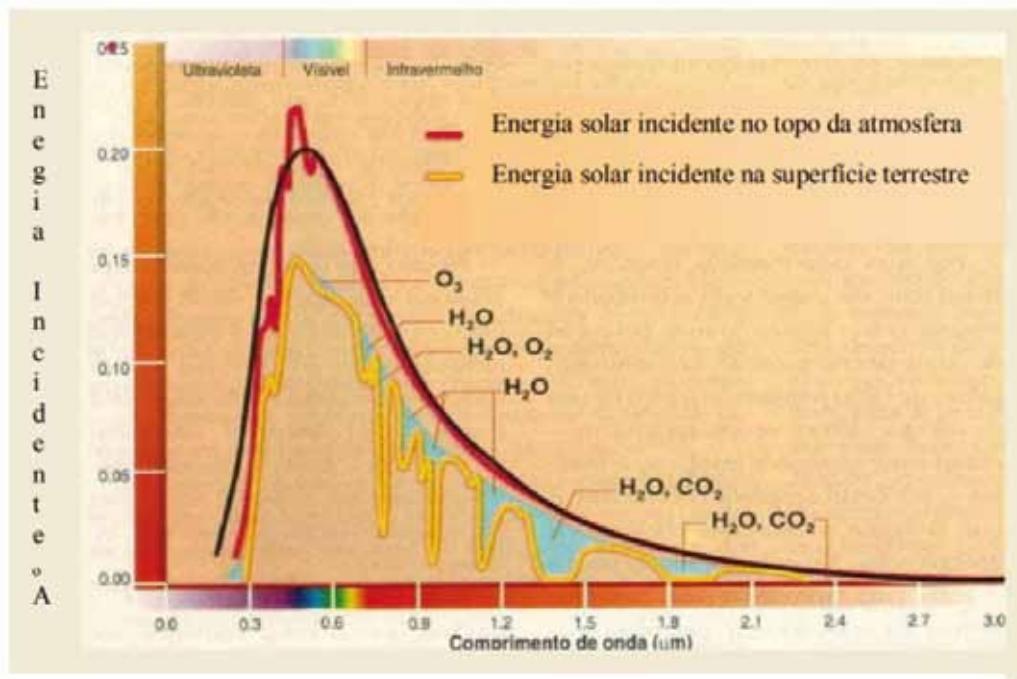


Figura 3 - Curvas da distribuição espectral da energia solar na atmosfera/superfície terrestre.

Cerca de 70% da energia solar está concentrada na faixa espectral compreendida entre 0,3 e 0,7 μm e como a atmosfera absorve muito pouco nesta região, grande parte da energia solar atinge a superfície da Terra. Também existem regiões no espectro eletromagnético para os quais a atmosfera é opaca (absorve toda a energia eletromagnética). Na região do ultravioleta e visível, o principal gás absorvedor da energia eletromagnética solar é o ozônio (O_3), o qual protege a terra dos raios ultravioletas que são letais a vida vegetal e animal. Na região do infravermelho os principais gases absorvedores são o vapor d'água (H_2O) e o dióxido de carbono (CO_2).

Existem regiões do espectro eletromagnético onde a atmosfera quase não afeta a energia eletromagnética, isto é, a atmosfera é transparente à energia eletromagnética proveniente do Sol ou da superfície terrestre. Estas regiões são conhecidas como janelas atmosféricas. Nestas regiões são colocados os detectores de energia eletromagnética, e portanto onde é realizado o sensoriamento remoto dos objetos terrestres. A Figura 4 apresenta as janelas atmosféricas e as regiões afetadas pelos principais gases atmosféricos.

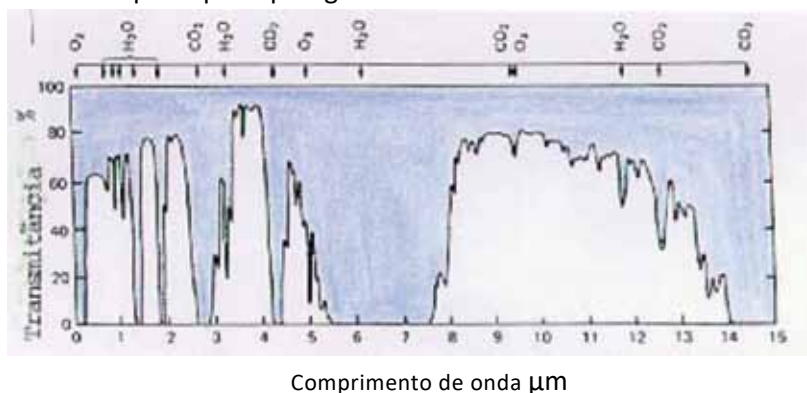


Figura. 4 – Transmitância espectral da atmosfera

A atmosfera quase não absorve a energia eletromagnética emitida pelos objetos que compõem a superfície terrestre, com exceção de uma pequena banda de absorção do ozônio, centrada em 9,6 μm . Nesta janela atmosférica o sistema terra-atmosfera perde energia para o espaço mantendo assim o equilíbrio térmico do planeta. Essas considerações são válidas para a atmosfera limpa, pois tanto nuvens como poluentes tendem a absorver a energia eletromagnética. As nuvens absorvem toda a energia na região do infravermelho, e emitem radiação eletromagnética proporcionalmente a sua temperatura. Acima de 14 μm a atmosfera é quase que totalmente opaca à energia eletromagnética, ou seja, absorve toda a energia eletromagnética com comprimentos de onda acima deste valor.

As interações da energia eletromagnética com os constituintes atmosféricos influenciam a caracterização da energia solar e terrestre disponíveis para o sensoriamento remoto de recursos naturais. A energia eletromagnética ao atingir a atmosfera é por esta espalhada, e parte desta energia espalhada retorna para o espaço, vindo a contaminar a energia refletida ou emitida pela superfície e que é detectada pelos sensores orbitais.

3.1 BANDAS ESPECTRAIS

Ondas de Rádio → Estas ondas eletromagnéticas têm frequências relativamente baixas e, consequentemente, maiores comprimentos de onda, indo de aproximadamente alguns centímetros a algumas centenas de metros (comunicação a longa distância).

Microondas → Nesta faixa de comprimentos de onda, pode-se construir dispositivos capazes de produzir feixes de REM altamente concentrados, chamados radares, que podem ser usados como meio de sondagem de maneira semelhante ao uso de um sonar na água.

Infravermelho → Este tipo de radiação engloba radiação de comprimentos de onda de 0,75 μm a 1,0 mm. Uma das características da radiação infravermelha é sua fácil absorção pela maioria das substâncias, nelas produzindo um efeito de aquecimento. Deve-se notar que a energia emitida pelos corpos aquecidos situa-se principalmente nesta faixa.

Visível → A radiação visível pode ser definida como aquela capaz de produzir a sensação de visão para o olho humano normal. Esta radiação indo desde o violeta até o vermelho tem somente uma pequena variação de comprimento de onda, que vai de 380 a 750 nm aproximadamente. Este tipo de radiação pode ser produzido por luminescência ou por corpos muito quentes.

Ultravioleta → Engloba uma extensa faixa do espectro. Serve para detecção de minerais por luminescência, e de poluição marinha. A forte atenuação atmosférica apresenta-se como obstáculo.

3.2 INTERAÇÃO

Interação da Radiação Solar e a Atmosfera Terrestre

Radiação

26% Refletida pelas nuvens	} RETORNA AO ESPAÇO
11% Dispersa por partículas	
16% Absorvida por gases e vapor d'água	
53% Perdida na radiação global (Rg)	
47% Chega à superfície Terrestre	
19% Raios solares diretos	
26% Raios solares difusos	
47% Chega à superfície Terrestre	
19% Raios solares diretos	
26% Raios solares difusos	

PRINCIPAIS BARREIRAS À RADIAÇÃO SOLAR QUE DIFICULTAM A OPERAÇÃO DOS SISTEMAS SENSORES

Refração - Passagem do meio menos denso para o meio mais denso – concentração de gases que compõem a atmosfera é bastante variada.

Absorção - Por gases e CO_2 – Total no Ultravioleta ou parcial (em todo o espectro)

Espalhamento - Por partículas dispersas e nuvens – As nuvens impedem a passagem da radiação solar.

Este comportamento por qualquer tipo de matéria é seletivo em relação ao comprimento de onda e específico para cada tipo de matéria, dependendo basicamente de sua estrutura atômica e molecular. Torna-se possível, assim, em princípio, a identificação de um objeto por um sensor, mediante o registro de sua assinatura espectral.

Reflexão

Um dos processos de maior relevância na interação da REM com a superfície dos alvos é o da reflexão, pois a maior parte das informações é obtida por meio da análise da energia refletida pelos alvos.

Reflectância (ρ)– Razão entre o fluxo refletido e o fluxo incidente numa superfície, ou ainda, é a capacidade de um alvo refletir REM ao longo do espectro eletromagnético. Para os propósitos do SR, são importantes as mudanças introduzidas nas características espectrais do fluxo refletido. O conhecimento dos espectros de reflectância é fundamental para a escolha dos melhores canais ou faixas espectrais onde algumas características dos alvos sejam realçadas e para a interpretação de imagem.

4. Comportamento Espectral de Objetos Naturais

O fluxo de energia eletromagnética ao atingir um objeto (energia incidente) sofre interações com o material que o compõe, sendo parcialmente refletido, absorvido e transmitido pelo objeto, como pode ser visto na Figura 5. A absorção, reflexão e transmissão da energia incidente poder ser total ou parcial, guardando sempre o princípio de conservação de energia. A capacidade de um objeto absorver, refletir e transmitir a radiação eletromagnética é denominada, respectivamente, de absortância, reflectância e transmitância, sendo que os valores variam entre 0 e 1. O comportamento espectral de um objeto pode ser definido como sendo o conjunto dos valores sucessivos da reflectância do objeto ao longo do espectro eletromagnético, também conhecido como a assinatura espectral do objeto. A assinatura espectral do objeto define as feições deste, sendo que a forma, a intensidade e a localização de cada banda de absorção é que caracteriza o objeto.

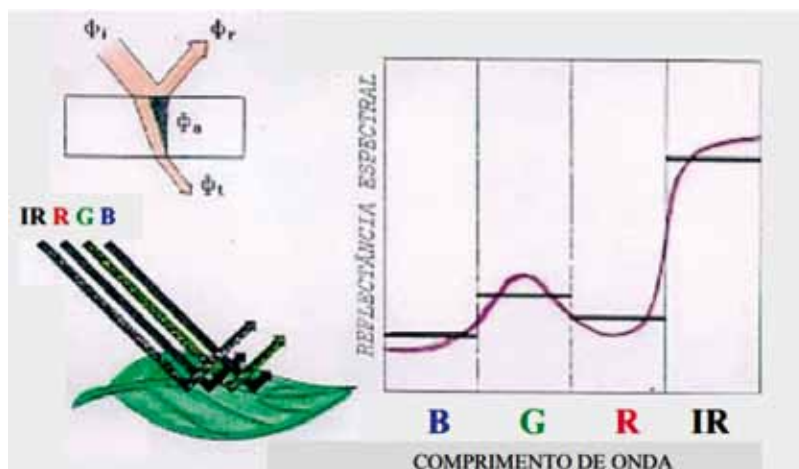


Figura. 5 - Interação da energia eletromagnética com o objeto.

Os objetos interagem de maneira diferenciada espectralmente com a energia eletromagnética incidente, pois os objetos apresentam diferentes propriedades físico-químicas e biológicas. Estas diferentes interações é que possibilitam a distinção e o reconhecimento dos diversos objetos terrestres sensoriados remotamente, pois são reconhecidos devido a variação da porcentagem de energia refletida em cada comprimento de onda. A Figura 2 apresenta os espectros de reflectância de alguns objetos bastante frequentes nas imagens de sensoriamento remoto como, água, solo, areia, vegetação e nuvens.

O conhecimento do comportamento espectral dos objetos terrestres é muito importante para a escolha da região do espectro sobre a qual pretende-se adquirir dados para determinada aplicação. As características básicas observadas no comportamento espectral destes objetos são:

- A vegetação sadia apresenta alta absorção da energia eletromagnética na região do espectro visível, que é capturada pela clorofila para a realização da fotossíntese. Dentro do espectro visível a absorção é mais fraca na região que caracteriza a coloração da vegetação. A alta reflectância no infravermelho próximo (até $1,3\mu\text{m}$) é devido a estrutura celular, sendo que a partir deste comprimento de onda é o conteúdo de água na vegetação quem modula as bandas de absorção presentes no comportamento espectral desta.

- O comportamento espectral de rochas é resultante dos espectros individuais dos minerais que as compõem. Os minerais apresentam características decorrentes de suas bandas de absorção. Portanto a absorção é o principal fator que controla o comportamento espectral das rochas.

- O comportamento espectral dos solos é também dominado pelas bandas de absorção de seus constituintes. As combinações e arranjos dos materiais constituintes dos solos é que define o seu comportamento espectral, sendo que os principais fatores são a constituição mineral, a matéria orgânica, a umidade e a granulometria (textura e estrutura) deste.

- A água pode-se apresentar na natureza em três estados físicos, os quais apresentam comportamento espectral totalmente distintos. O comportamento espectral da água líquida pura apresenta baixa reflectância (menor do que 10%) na faixa compreendida entre $0,38$ e $0,7\mu\text{m}$ e máxima absorção acima de $0,7\mu\text{m}$. O comportamento espectral de corpos d'água é modulado principalmente pelos processos de absorção e espalhamento produzidos por materiais dissolvidos e em suspensão neles, pois é verificado que a presença de matéria orgânica dissolvida em corpos d'água desloca o máximo de reflectância espectral para o verde-amarelo, enquanto que a presença de matéria inorgânica em suspensão resulta num deslocamento em direção ao vermelho.

- O comportamento espectral de nuvens apresenta elevada reflectância (em torno de 70%), em todo o espectro óptico com destacadas bandas de absorção em 1 , $1,3$ e $2\mu\text{m}$.

Com o intuito de melhor interpretar as imagens de satélites, muitos pesquisadores têm se dedicado a pesquisa fundamental, ou seja, a obtenção e a análise de medidas da reflectância dos objetos terrestres em experimento de campo e de laboratório, os quais possibilitam uma melhor compreensão das relações existentes entre o comportamento espectral dos objetos e as suas propriedades.

5. Sistema Sensor

Os sensores remotos são dispositivos capazes de detectar a energia eletromagnética (em determinadas faixas do espectro eletromagnético) proveniente de um objeto, transformá-las em um sinal elétrico e registrá-las, de tal forma que este possa ser armazenado ou transmitido em tempo real para posteriormente ser convertido em informações que descrevem as feições dos objetos que compõem a superfície terrestre. As variações de energia eletromagnética da área observada podem ser coletadas por sistemas sensores imageadores ou não-imageadores.

Os sistemas imageadores fornecem como produto uma imagem da área observada, como por exemplo temos os “scaners” e as câmaras fotográficas, enquanto que os sistemas não-imageadores, também denominados radiômetros ou espectralradiômetros, apresentam o resultado em forma de dígitos ou gráficos.

Os sistemas sensores também podem ser classificados como ativos e passivos. Os sensores passivos não possuem fonte própria de energia eletromagnética, como por exemplo os sensores do satélite Landsat 5, os radiômetros e espectralradiômetros. Os sensores ativos possuem uma fonte própria de energia eletromagnética. Eles emitem ener-

gia eletromagnética para os objetos terrestres a serem imageados e detectam parte desta energia que é refletida por estes na direção destes sensores. Como exemplo podemos citar o radar e qualquer câmara fotográfica com flash.

Os sistemas fotográficos foram os primeiros equipamentos a serem desenvolvidos e utilizados para o sensoriamento remoto de objetos terrestres

As principais partes de um sensor são:

a) coletor: é um componente óptico capaz de concentrar o fluxo de energia proveniente da amostra no detector;

b) filtro: é o componente responsável pela seleção da faixa espectral da energia a ser medida;

c) detetor: é um componente de pequenas dimensões feito de um material cujas propriedades elétricas variam ao absorver o fluxo de energia, produzindo um sinal elétrico.

d) processador: é um componente responsável pela amplificação do fraco sinal gerado pelo detetor e pela digitalização do sinal elétrico produzido pelo detector; e

e) unidade de saída: é um componente capaz de registrar os sinais elétricos captados pelo detector para posterior extração de informações.

A qualidade de um sensor geralmente é especificada pela sua capacidade de obter medidas detalhadas da energia eletromagnética. As características dos sensores estão relacionadas com a resolução espacial, espectral e radiométrica.

A resolução espacial representa a capacidade do sensor distinguir objetos. Ela indica o tamanho do menor elemento da superfície individualizado pelo sensor. A resolução espacial depende principalmente do detector, da altura do posicionamento do sensor em relação ao objeto. Para um dado nível de posicionamento do sensor, quanto menor for a resolução geométrica deste maior será o grau de distinção entre objetos próximos. Por exemplo, o sistema sensor do Thematic Mapper (TM) do Landsat 5 possui uma resolução espacial de 30 metros.

A resolução espectral refere-se à largura espectral em que opera o sensor. Portanto, ela define o intervalo espectral no qual são realizadas as medidas, e consequentemente a composição espectral do fluxo de energia que atinge o detetor. Quanto maior for o número de medidas num determinado intervalo de comprimento de onda melhor será a resolução espectral da coleta. Por exemplo, o Landsat 5 possui os sensores TM e Multispectral Scanning System (MSS). O sensor TM apresenta algumas bandas espectrais mais estreitas do que o sensor MSS, portanto nestas bandas o TM apresenta melhor resolução espectral do que o MSS.

A resolução radiométrica define a eficiência do sistema em detectar pequenos sinais, ou seja, refere-se à maior ou menor capacidade do sistema sensor em detectar e registrar diferenças na energia refletida e/ou emitida pelos elementos que compõe a cena (rochas, solos, vegetações, águas, etc). Por exemplo, o sistema sensor TM do Landsat 5 distingue até 256 tons distintos de sinais representando-os em 256 níveis de cinza.

Uma outra qualidade importante é a resolução temporal do sensor, que está relacionada com a repetitividade com que o sistema sensor pode adquirir informações referentes ao objeto. Por exemplo, os sensores do Landsat 5 possuem uma repetitividade de 16 dias.

Para melhor interpretar os sinais coletados faz-se necessário o conhecimento das condições experimentais como: fonte de radiação, efeitos atmosféricos, características do sensor, geometria de aquisição de dados, tipo de processamento e estado do objeto.

6. Níveis de Aquisição de Dados

Os sistemas sensores podem ser mantidos no nível orbital (satélites) ou suborbital (acoplados em aeronaves ou mantidos ao nível do solo), como pode ser visualizado na Figura 6. Ao nível do solo é realizada a aquisição de dados em campo ou em laboratório onde as medidas são obtidas utilizando-se radiômetros ou espectroradiômetros.

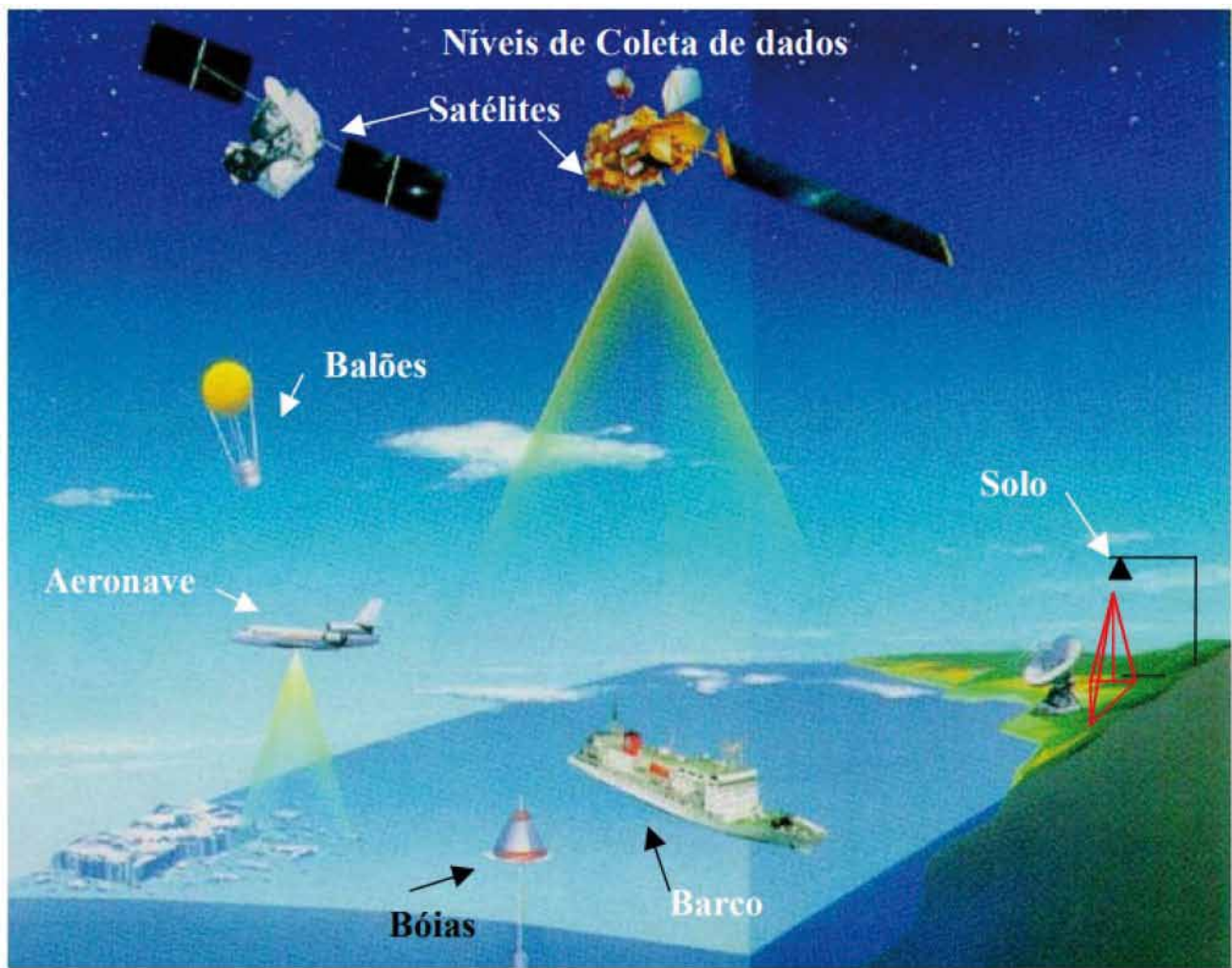


Figura 6 – Níveis de Coleta de Dados Fonte : Moreira (2001)

Ao nível de aeronaves os dados de sensoriamento remoto podem ser adquiridos por sistemas sensores de varredura óptico-eletrônico, sistemas fotográficos ou radar, e a resolução espacial destes dados dependerá da altura do voo no momento do aerolevanteamento.

A obtenção de dados no nível orbital é realizada através de sistemas sensores a bordo de satélites artificiais. O sensoriamento remoto neste nível permite a repetitividade das informações, bem como um melhor monitoramento dos recursos naturais para grandes áreas da superfície terrestre.

7. Principais Características das Imagens Sensoriamento Remoto

Imagens de Sensoriamento Remoto Uma imagem digital pode ser vista como uma matriz de dimensões composta de n linhas por m colunas, na qual cada célula (pixel) dessa matriz possui um valor numérico correspondente ao valor de brilho proporcional à reflectância do alvo na respectiva posição e que varia do branco ao preto. **Imagens Multiespectrais:** São aquelas adquiridas em diferentes porções do espectro eletromagnético simultaneamente.

Características das imagens:

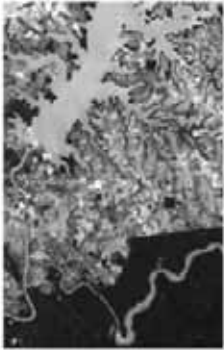
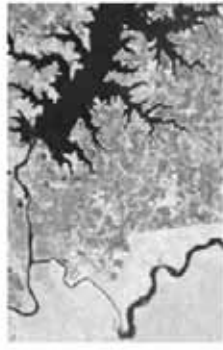
Estrutura:

→ As imagens de Sensoriamento Remoto são constituídas por um arranjo de elementos sob a forma de uma malha ou grid;

- Cada cela (pixel) desse grid tem sua localização definida em um sistema de coordenadas do tipo “linha e coluna”, representadas por “X” e “Y”, e um atributo numérico “Z”, que indica o nível de cinza dessa cela, conhecido como DN, de digital number (varia de preto ao branco);
- O DN de um pixel corresponde à média da intensidade da energia refletida ou emitida pelos diferentes materiais presentes nesse pixel;
- Uma imagem digital pode então ser vista como uma matriz, de dimensões X linhas por Y colunas, com cada elemento possuindo um atributo Z (nível de cinza).

Resolução

É a habilidade de um sistema de sensoriamento remoto para produzir uma imagem nítida e bem definida. As características dos sistemas sensores são expressas em função de quatro domínios de resolução: espectral, espacial ou geométrica, temporal e radiométrica.

Banda 3 0,63-0,69 μm (vermelho)	Banda 4 0,77-0,89 μm (infravermelho próximo)
	
<ul style="list-style-type: none"> • Absorção de clorofila; • Diferenciação de espécies vegetais; • Áreas urbanas, uso do solo; • Agricultura; • Qualidade d'água 	<ul style="list-style-type: none"> • Delineamento de corpos d'água; • Mapeamento geomorfológico; • Mapeamento geológico; • Áreas de queimadas; • Áreas úmidas; • Agricultura; Vegetação

Aplicações das bandas da Câmara CCD do satélite CBERS
<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/>

8. Alguns Sistemas Sensores e Resoluções

Resolução Espacial – Representa a capacidade do sistema sensor de “enxergar” objetos na superfície terrestre: quanto menor o objeto passível de ser visto, maior sua resolução.

Resolução Temporal - Diz respeito à frequência com que as imagens de uma mesma área são obtidas.

Resolução Radiométrica – É a capacidade do detector de perceber diferenças do sinal recebido e é dada pelo número de níveis digitais representando níveis de cinza. Quanto maior for o número de níveis, maior será também a resolução radiométrica. Representa a capacidade de discriminar entre diferentes intensidades de sinal ou números digitais em que a informação encontra-se registrada.

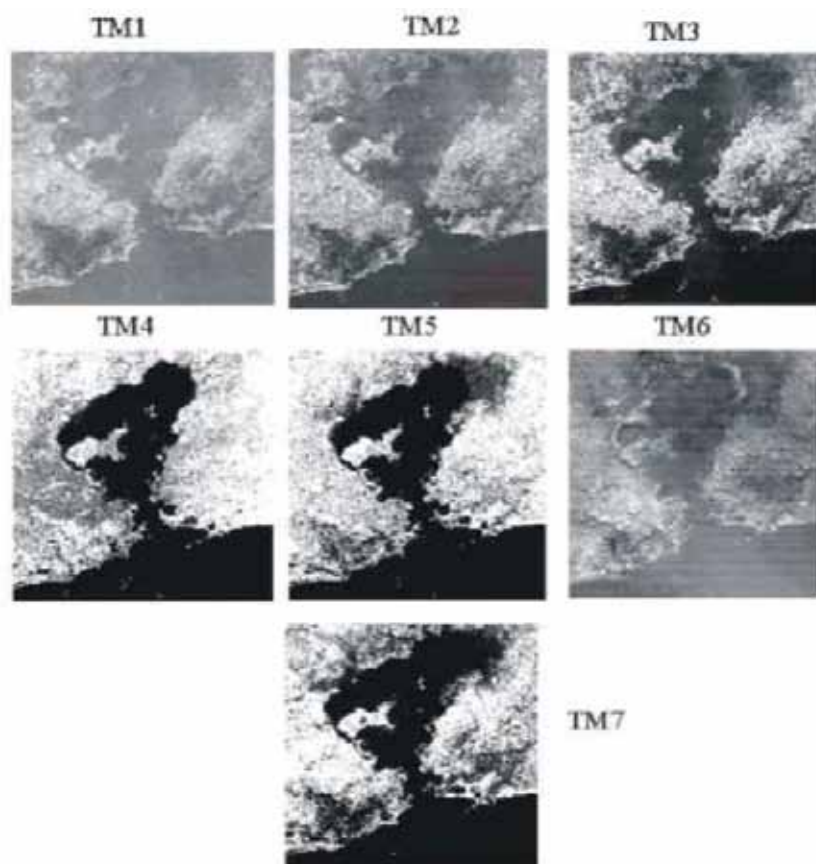


Figura 7 – Imagens de uma área no Estado do Rio de Janeiro, obtidas nas sete bandas do sensor TM do Landsata-5
 Fonte: <http://www.ltid.inpe.br/dsr/mauricio/sensores.htm>

Banda	FAIXA ESPECTRAL		REGIÃO DO ESPECTRO	RESOLUÇÃO ESPACIAL
	Nm	μm		(mxm)
1	450 – 520	0,45 – 0,52	Azul	30
2	630 – 610	0,53 – 0,61	Verde	30
3	630 – 690	0,63 – 0,69	Vermelho	30
4	780 – 900	0,76 – 0,90	IV/ Próximo	30
5	1550 – 1750	1,55 – 1,75	IV/ Médio	30
6	10400 – 12500	10,4 – 12,5	IV/ Termal	120
7	2090 – 2350	2,08 - 2,35	IV/ Médio	30
8(PAN)	520 – 900	0,52 – 0,90	VIS/ IV/ Próximo	15

			ESPECTRAL(μM)	(metro)
SPOT 3	HRV	X1	0,5 – 0,59	20
		X2	0,61 – 0,68	20
		X3	0,79 – 0,89	20
		PAN	0,51 – 0,73	10
SPOT 4*	HRV	X1	0,5 – 0,59	20
		X2	0,61 – 0,68	20
		X3	0,78 – 0,89	20
		PAN	0,61 – 0,68	10
		SWIR	1,68 – 1,75	20
SPOT 5	HRV	X1	0,5 – 0,59	10
		X2	0,61 – 0,68	10
		X3	0,78 – 0,89	10
		2 - PAN	0,48 – 0,71	10 5 – 2,5
		SWIR	1,68 – 1,75	20

Tabela 3 - Características do Sensor do Satélite Ikonos

Sensor	Revolução Espectral μm	Revolução Espacial (mxm)	Faixa de varredura	Resolução Radiométrica
Pancromático	0,45-0,90	1	1100 Km	11 bits(2048 níveis)
Multiespectral	0,45-0,52	4	1100 Km	11 bits(2048 níveis)
	0,52-0,60	4	1100 Km	11 bits(2048 níveis)
	0,63-0,69	4	1100 Km	11 bits(2048 níveis)
	0,76-0,90	4	1100 Km	11 bits(2048 níveis)

Tabela 4 - Satélite CBERS - Características dos Sensores CCD, IR- MSS e WFI

SENSOR	FAIXA ESPECTRAL (μm)	REVOLUÇÃO ESPACIAL (mxm)	VARREDURA NO TERRENO (km)
CCD	0,45-0,52	19,5	113
	0,52-0,59		
	0,63-0,69		
	0,77-0,73		
	0,51-0,73 (PAN)		
IR-MSS	0,50-1,10	77,8	120
	1,55-1,75		
	2,08-2,35		
	10,04-12,05		
WFI	0,63-0,69	256	890
	0,77-0,89		

O satélite CBERS-2B, lançado em setembro de 2007, foi construído para dar continuidade ao programa de imageamento do País, e é praticamente idêntico aos CBERS-1 e 2. Algumas melhorias foram introduzidas, a principal delas é quanto à carga útil, com a substituição do imageador IRMSS por uma Câmera Pancromática de Alta Resolução (HRC).

CARACTERÍSTICAS DA CÂMERA PANCROMÁTICA DE ALTA RESOLUÇÃO – HRC

- Banda espectral 0,50 - 0,80 μm (pancromática)
- Campo de Visada 2,1°
- Resolução espacial 2,7 x 2,7 m
- Largura da faixa imageada 27 km (nadir)
- Resolução temporal 130 dias na operação proposta
- Taxa de dados da imagem 432 Mbit/s (antes da compressão)
- Quantização 8 bits

Sensor do RADARSAT é um radar de alta tecnologia. A obtenção de imagens por parte deste satélite não se encontra dependente das condições climáticas, nomeadamente da nebulosidade, como acontece com a maioria dos satélites de detecção remota com sensores ópticos (Tabela).

Tabela 6: Características do Sensor SAR

Sensor	Resolução Espectral	Modo de Operação	Resolução Espacial	Faixa de Varredura	Ângulo de incidência (Graus)
SAR	5,3GHz ou (5,6cm)	Standard	25 x 28m	100km	20-49
Syntethic Aperture Radar Opera na banda "C"	5,3GHz	Wide -1	48-30 x 28m	165km	20-31
	5,3GHz	Wide-2	32-25 x 28m	150km	31-39
	5,3GHz	Fine Resolution	11-9 x 9m	45km	37-48
	5,3GHz	ScanSAR Narrow	50 x 50m	305km	20-40
	5,3GHz	ScanSAR Wide	100 x 100m	510km	20-49
	5,3GHz	Extended (H)	22-19 x 28m	75km	50-60
	5,3GHz	Extended (L)	63-28 x 28m	170km	10-23

9. Comportamento Espectral

Para que possamos extrair informações a partir de dados de sensoriamento remoto é fundamental o conhecimento do comportamento espectral dos objetos da superfície da terra e dos fatores que interferem neste comportamento.

O CEA resulta das interações entre a REM incidente sobre o objeto e as propriedades físicas, químicas e biológicas do objeto.

O conhecimento do CEA não é importante apenas para a extração de informações de imagens obtidas pelos sensores, é também importante na própria definição de novos sensores. Quando selecionamos, por exemplo, a melhor seleção de canais para uma composição colorida, temos que conhecer o comportamento espectral do alvo de nosso interesse, pois, sem conhecê-lo, corremos o risco de desprezar FAIXAS ESPECTRAIS DE GRANDE SIGNIFICÂNCIA NA SUA DISCRIMINAÇÃO.

- A maior fonte de REM é o Sol. A Terra também é uma grande fonte desta energia.
- A Terra é uma grande fonte de REM termal, que é emitida, em grande quantidade, durante a noite.
- Durante este percurso (Sol/atmosfera/Terra) acontecem alguns fenômenos já conhecidos por nós, como:
 - A cor azul do céu: resultado do espalhamento, pela atmosfera, da radiação eletromagnética na faixa do azul;
 - A cor avermelhada do céu ao amanhecer e no poente: resultado do espalhamento, pela atmosfera, da radiação eletromagnética na faixa do vermelho;
 - A cor branca das nuvens: resultado do espalhamento, pela atmosfera, de todos os tipos de REM.

A quantidade de energia refletida por um alvo irá definir o seu comportamento espectral e esta informação será captada por um sensor, que é o equipamento responsável por essa detecção.

Para que possamos extrair informações a partir de dados de sensoriamento remoto, é fundamental o conhecimento de comportamento espectral dos objetos da superfície terrestre e dos fatores que interferem neste comportamento (ex.: atmosfera).

Por exemplo:

- A vegetação possui a cor verde porque ela reflete a REM (ou comprimento de onda) na faixa do verde;
- O mar possui a cor azul-esverdeada porque reflete o azul e um pouco do verde.

EXEMPLO:

Sistema TM

Bandas	Faixa espectral (μm)	Aplicações
1	0,45 – 0,52(azul)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mapeamento de águas costeiras ➤ Diferenciação entre solo e vegetação ➤ Diferenciação entre vegetação conífera e decídua
2	0,52 – 0,60(verde)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mapeamento de vegetação ➤ Qualidade da água
3	0,63 – 0,69(vermelho)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Absorção de clorofila ➤ Diferenciação de espécies vegetais ➤ Áreas urbanas e uso do solo ➤ Agricultura ➤ Qualidade da água
4	0,76 – 0,90 (infravermelho próximo)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Delineamento de corpos d'água ➤ Mapeamento geomorfológico ➤ Mapeamento Geológico ➤ Áreas de queimadas ➤ Agricultura ➤ Vegetação
5	1,55 – 1,75 (infravermelho próximo)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Uso do solo ➤ Medidas de unidade de vegetação ➤ Diferenciação entre nuvem e neve ➤ Agricultura ➤ Vegetação
6	10,40 – 12,50 (infravermelho termal)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mapeamento de estresse térmico em plantas ➤ Correntes marinhas ➤ Propriedade termal do solo ➤ Outros mapeamentos térmicos
7	2,08 – 2,35 (infravermelho médio)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Identificação de minerais ➤ Mapeamento hidrotermal

10. Comportamento Espectral de Alvos

O comportamento espectral de alvos pode ser definido pela forma como diferentes alvos interagem com a radiação eletromagnética. Algumas absorvem, refletem ou transmitem a radiação em proporções que variam com o comprimento de onda, de acordo com as suas características físicas, biológicas e químicas.

ASSINATURA ESPECTRAL

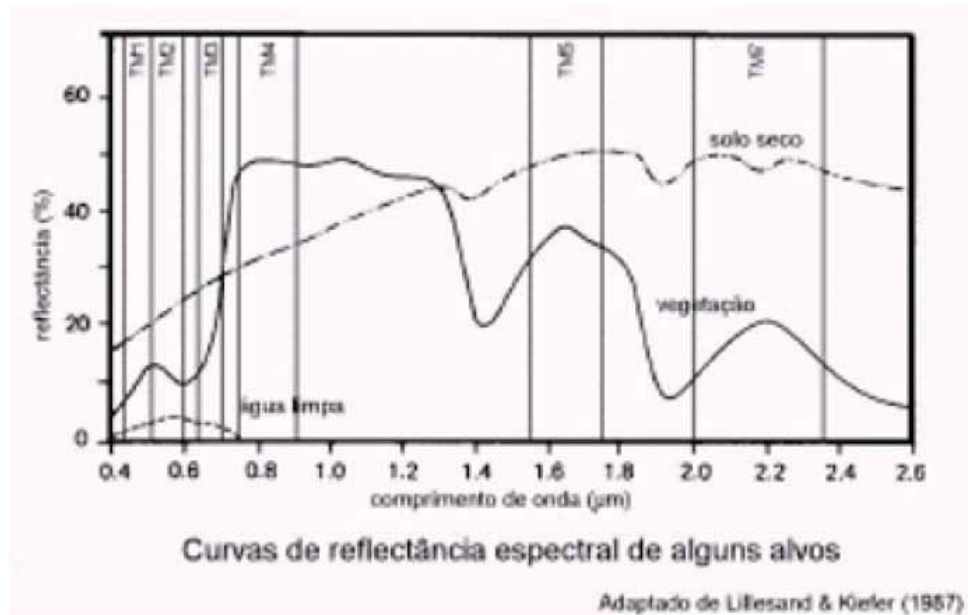


Figura 8 – curvas de reflectância

A figura acima mostra três tipos de alvos água, solo, e vegetação, que, em uma faixa do espectro eletromagnético compreendida entre 0,4 a 2,6 μm , apresentam diferentes formas e intensidade de reflectância. Graças a isso, podemos discriminar e identificar os diferentes alvos existentes na natureza. Estes objetos da superfície refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam com o comprimento de onda, de acordo com as suas características bio-físico-químicas.

No espectro eletromagnético, a absorção de energia é caracterizada por uma diminuição relativa na porcentagem de reflectância em certas faixas de comprimento de onda, denominadas bandas de absorção.

Vegetação

a) Até 0,7 μm - a reflectância é baixa ($< 0,2$), dominando a absorção da radiação incidente pelos pigmentos da planta em 0,48 μm (carotenóides) e em 0,62 μm (clorofila). Em 0,56 μm há um pequeno aumento do coeficiente de reflectância;

b) Entre 0,7 μm e 1,3 μm – região dominada pela alta reflectância da vegetação ($0,3 < \rho < 0,4$), devido à interferência da estrutura celular;

c) Entre 1,3 μm e 2,5 μm , a reflectância da vegetação é dominada pelo conteúdo de água nas folhas (correspondem também às bandas de absorção atmosférica).

Solos

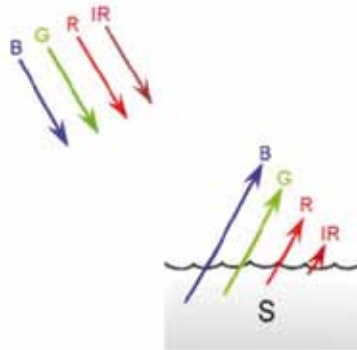
Regiões de espectro mais adequadas ao estudo de propriedade físico-química	Regiões Espectrais	Propriedadess
	0,57 μm	Monitoramento de matéria orgânica em solos sem cobertura vegetal
	0,7 μm e 0,9 μm	Monitoramento do conteúdo de compostos de ferro férrico
	1,0 μm	Monitoramento do conteúdo de compostos de ferro férrico
	2,2 μm	Monitoramento de umidade do solo

Água

a) A água em estado líquido apresenta baixa reflectância entre $0,38\ \mu\text{m}$ e $0,70\ \mu\text{m}$, absorvendo toda a radiação acima de $0,7\ \mu\text{m}$ (Figura 3);

b) A água em forma de nuvens apresenta altíssima reflectância ($0,70\ \mu\text{m}$) entre $0,38\ \mu\text{m}$ e $2,5\ \mu\text{m}$, com absorção ampla em torno de $1,0\ \mu\text{m}$, com absorção ampla em torno de $1,0\ \mu\text{m}$, $1,3\ \mu\text{m}$ e $2\ \mu\text{m}$;

c) A água em forma de neve apresenta elevada reflectância (maior do que as nuvens) entre $0,7\ \mu\text{m}$ e $1,2\ \mu\text{m}$. De $1,2\ \mu\text{m}$ a $1,4\ \mu\text{m}$ a reflectância decresce com um gradiente altíssimo (de $0,8$ a $0,2$) atingindo valores de ρ inferiores a $0,1$ em $1,5\ \mu\text{m}$. Entre $1,5\ \mu\text{m}$ e $2,0\ \mu\text{m}$ há um aumento de reflectância da neve (máximo em aproximadamente $1,5\ \mu\text{m}$ quando atinge um valor $\rho = 0,2$). Em $2,0\ \mu\text{m}$ a reflectância aproxima-se de zero para aumentar até $0,2$ em torno de $2,25\ \mu\text{m}$.



Asfalto

a) Reflectância baixa e decrescente entre $0,3\ \mu\text{m}$ e $0,4\ \mu\text{m}$;

b) Reflectância crescente entre $0,4\ \mu\text{m}$ e $0,6\ \mu\text{m}$;

c) Reflectância de $0,2$ entre $0,6\ \mu\text{m}$ e $1,0\ \mu\text{m}$;

d) Reflectância crescente até $1,3\ \mu\text{m}$.

Concreto

a) Aumento da reflectância com o comprimento de onda;

b) Apresentando feições amplas entre $0,38\ \mu\text{m}$, entre $0,64\ \mu\text{m}$ e $0,8\ \mu\text{m}$ e em $1,1\ \mu\text{m}$.

Comportamento Espectral de áreas urbanas

As áreas urbanas são caracterizadas por uma aparência heterogênea, causada pelo fato da 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 resposta espectral de cidades só pode ser descrita de uma forma generalizada.

A região do vermelho do espectro visível é a que mostra um contraste maior entre a área construída e a vegetação.

Composição Colorida

(Divino Figueiredo/Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto)

Trata-se de um dos artifícios de maior utilidade na interpretação das informações do SR. Ela é fundamental para uma boa identificação e discriminação dos alvos terrestres. O olho humano é capaz de descri-

minar mais facilmente matizes de cores do que tons de cinza. A composição colorida é produzida na tela do computador, ou em outro dispositivo qualquer, atribuindo-se as cores primárias (vermelha, verde e azul) a três bandas espectrais quaisquer. Este artifício é também conhecido como composição RGB (do inglês: Red, Green, Blue). Associando, por exemplo, a banda 3 à cor vermelha (R), a banda 4 à cor verde (G) e a banda 5 à cor azul (B), produz-se uma composição colorida representada por 345 (RGB) (Figura 4). A formação das cores na imagem pode ser considerada similar ao trabalho de um pintor que tenha à sua disposição 3 latas de tinta, uma de cada uma das cores acima. Com estas latas de tinta pintamos a imagem. A imagem é pintada pixel a pixel. Os pixels são pintados individualmente usando um pouco de tinta de cada lata. A quantidade de tinta de cada cor é determinada pelo nível de cinza do pixel na banda associada à cor. Se o nível de cinza for 0 em uma banda, significa que nenhuma tinta deve ser utilizada da correspondente cor. Pixels que têm nível de cinza igual a 0 nas 3 bandas ficam completamente sem tinta, portanto em cor preta (ou sem cor). Se o nível de cinza em uma banda for máximo, digamos 255, significa que se deve utilizar o máximo de tinta da cor correspondente. Pixels que têm o máximo valor de nível de cinza nas 3 bandas ficam, na imagem, em cor branca intensa. Pixels que têm o mesmo nível de cinza nas 3 bandas ficam em tons da cor cinza, (não confundir nível de cinza, que é o valor digital do pixel, com a cor cinza que estamos agora utilizando). Neste caso de valores iguais dos níveis de cinza, o tom da cor cinza será mais escuro para valores menores e mais claro para valores maiores. A título de ilustração, suponhamos que na composição 345 (RGB), um determinado pixel tivesse os seguintes níveis de cinza: banda 3 = 180, banda 4 = 70 e banda 5 = 10. Este pixel teria um tom de cor mais puxado para o vermelho do que para o azul, uma vez que o valor 180 determina que se utilize muito mais tinta da cor vermelha (R) do que da cor azul (B), que corresponde ao valor 10 da banda 5 que está associada a esta cor. O olho humano não consegue distinguir, na tela do computador, um único pixel de uma imagem em resolução plena, mas, embora pintados individualmente, eles formam, no conjunto, a imagem colorida. A quantidade total de cores possíveis de uma imagem no computador depende da faixa de valores dos níveis de cinza. Em uma imagem LANDSAT, por exemplo, onde a faixa é de 0 a 255, tem-se 256 níveis de cinza, neste caso, portanto, a quantidade de cores discretas na imagem é $256 \times 256 \times 256 = 16.777.216$. São 256 quantidades diferentes de tinta que se pode tirar de cada lata que podem ser combinadas entre si. Como os níveis de cinza de cada banda representam a assinatura espectral dos alvos, as colorações que as feições terrestres recebem nas imagens representam valioso meio de reconhecimento e de obtenção de informações, de modo indireto.

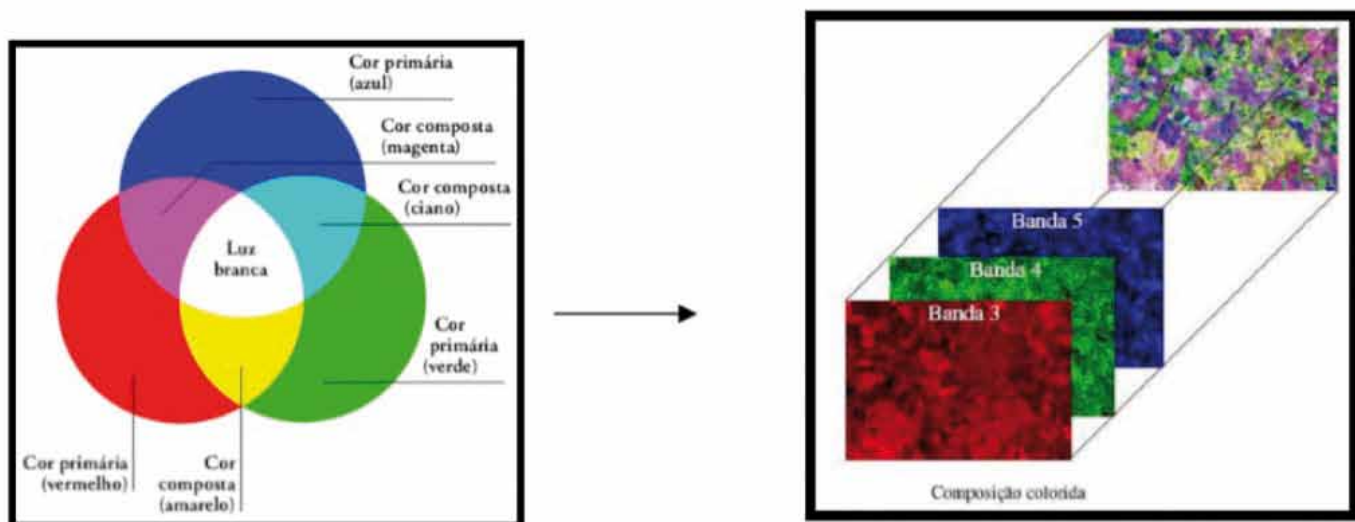


Figura 9 – Combinação das cores RGB e a Composição Colorida Fonte: <http://omnis.if.ufrj.br/~coelho/DI/texto.html>

11. Sistema Mundial de Referência (World Reference System)

O Sistema Mundial de Referência, composto pelo número da órbita e pelo número do ponto, é utilizado para localizar a imagem da área de interesse para estudo. O número da órbita se refere à órbita base a que pertence a cena, da área de interesse, no Sistema Mundial de Referência, e o número do ponto é associado a uma latitude padrão representada em um Mapa índice.

As imagens LANDSAT/TM podem ser adquiridas da seguinte forma:

- ✓ Cena inteira – cobre uma área de 185 x 185 Km.
- ✓ Quadrante – representa um quarto da cena inteira – cobre uma área de 90 x 90 km
- ✓ Subquadrante – representa um quarto do quadrante – cobre uma área de 46 x 46km



Fig. 10 - Mapa do sistema mundial de referência.

Fonte: <http://www.itid.inpe.br/selper/frame.html>

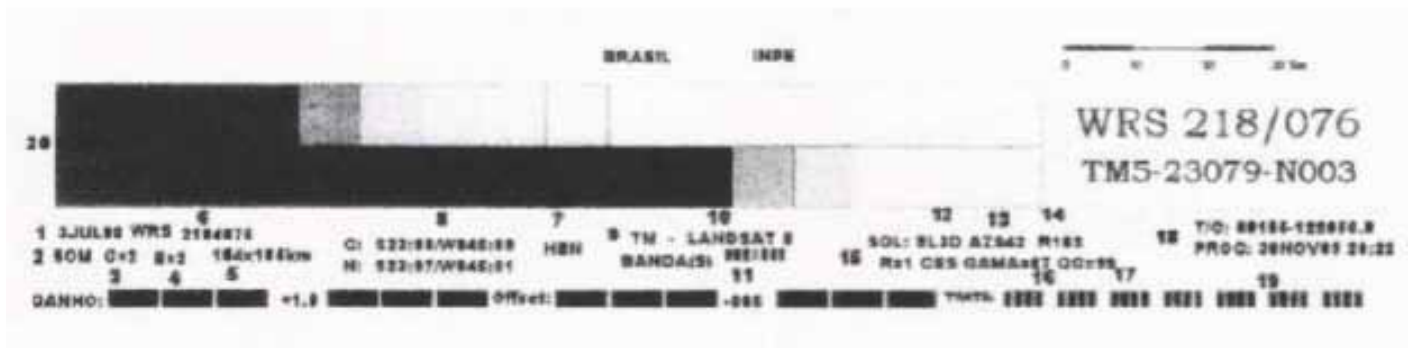


Figura 11 - Rodapé de uma imagem TM Fonte: <http://www.itid.inpe.br/selper/frame.html>

- 1 – Data da passagem do satélite;
- 2 – Tipo de projeção;
- 3 – Tipo de processamento geométrico;
- 4 – Tipo de efemérides;
- 5 – Área imageada;
- 6 – Órbita e ponto;
- 7 – Tipo de processamento;
- 8 – Coordenadas: C – coordenadas do centro da imagem; N – coordenadas do Nadir;
- 9 – Sensor;
- 10 – Satélite;
- 11 – Banda;
- 12 – Ângulo de elevação do sol;
- 13 – Ângulo de azimuth solar;
- 14 – Orientação do satélite;
- 15, 16 – Parâmetros de processamento;
- 17 – Qualidade de gravação;
- 18 – Número de órbitas;
- 19 – Data de processamento;
- 20 – Escala de nível de cinza.

12. Interpretação de Imagens

Uma imagem orbital contém muitos DADOS. Para esses dados tornarem-se INFORMAÇÃO, é necessário a interpretação dos dados a partir das diferentes áreas do CONHECIMENTO. Interpretar imagens é identificar objetos nelas representados e dar um significado a esses objetos, assim, quando identificamos uma represa, uma mancha urbana ou uma mata, estamos fazendo a sua interpretação. As imagens obtidas por sensores remotos, qualquer que seja seu processo de formação, registram a energia proveniente dos objetos da superfície observada. Independente da resolução e escala, as imagens apresentam os elementos básicos de reconhecimento que são:

O Texto abaixo foi baseado em: <http://www.tamoio.dmz.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/>



Fig. 12 - Imagem do Sensor AVIRIS apresentando dois padrões de drenagem diferente

Este conceito de padrão indica que um alvo no dado de sensoriamento remoto apresenta uma organização peculiar que o distingue de todos os outros.

Tonalidade e Cor

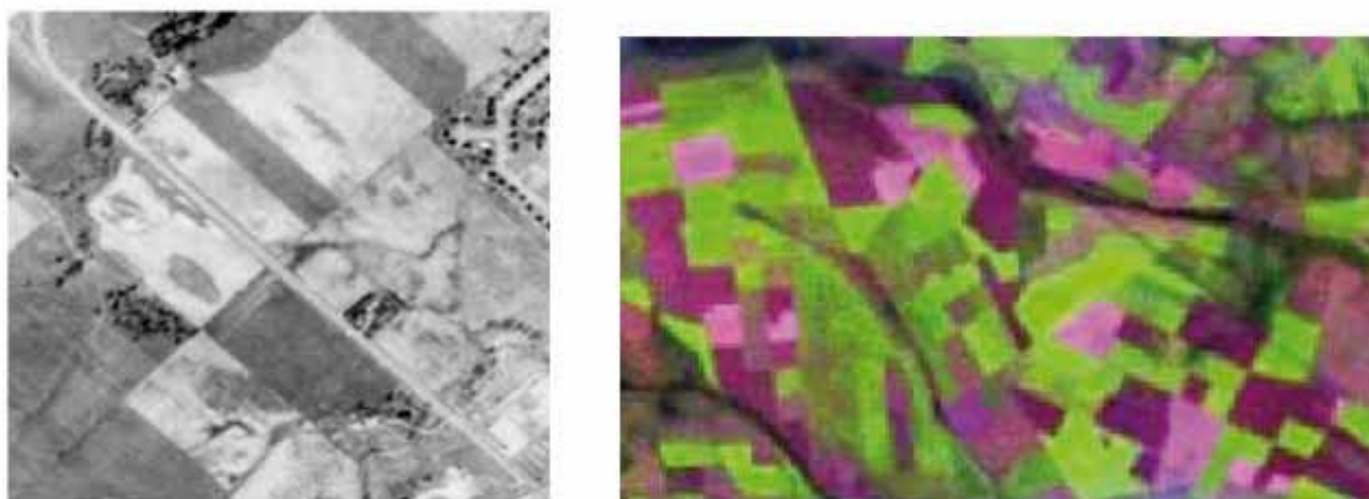


Fig. 13 - Padrão típico de áreas agrícolas, imagem LANDSAT-TM

A tonalidade refere-se à intensidade de energia eletromagnética refletida por um tipo de alvo na superfície terrestre, em uma determinada banda do espectro eletromagnético, em outras palavras, a tonalidade está estreitamente relacionada com o comportamento espectral das diferentes coberturas da superfície terrestre. Em uma imagem de satélite, estas diferentes quantidades de energia refletida pelos alvos são associadas a tons de cinza, isto é, quanto mais energia um alvo reflete mais energia chega ao sensor a bordo do satélite. Assim, este alvo será associado a um tom de cinza claro. Se, ao contrário, o alvo na superfície da terra reflete pouca energia, menos energia chegará ao sensor. Assim, este alvo será associado a tons de cinza mais escuros.

O olho humano é mais sensível a cores que a tons de cinza. As cores que podemos ver são fruto da reflexão seletiva dos alvos existentes na superfície terrestre, nas distintas bandas do espectro eletromagnético. Assim, para facilitar a interpretação visual dos dados de sensoriamento, são associadas cores aos tons de cinza.



Figura 14 - Imagem LANDSAT /TM do encontro das águas dos rios Solimões (azul claro) e Negro (preto) formando o rio Amazonas

Forma e Tamanho



Figura 15 - Imagem IKONOS com forma característica de sistema viário

Figura 16 - Imagem CBERS apresentando açudes, no estado do Ceará com tamanhos diferentes. O açude grande é o açude de Orós.

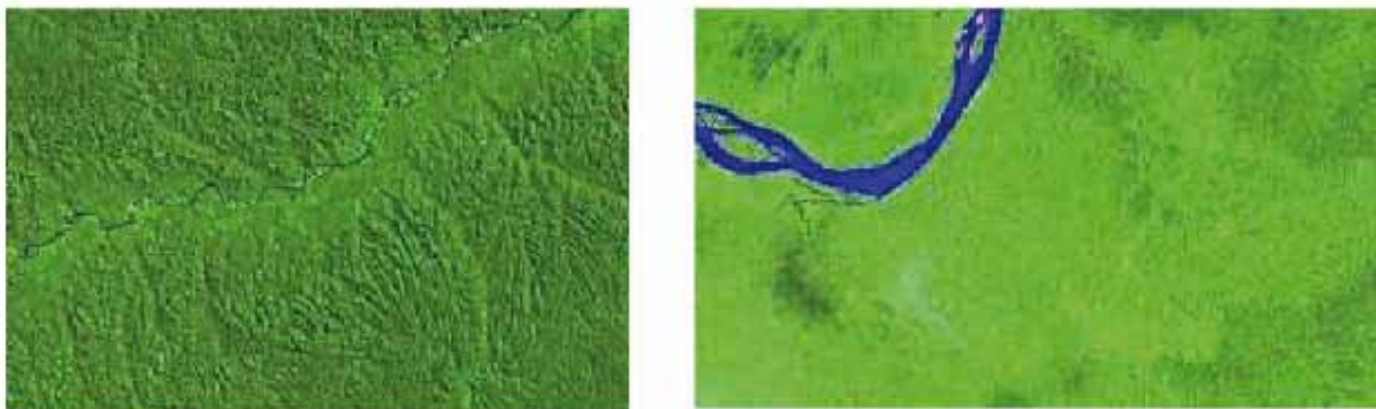


Fig. 17 - Imagens do sensor AVIRIS apresentando duas texturas distintas.

É a qualidade que se refere à aparente rugosidade ou suavidade de um alvo em uma imagem de sensoriamento remoto.

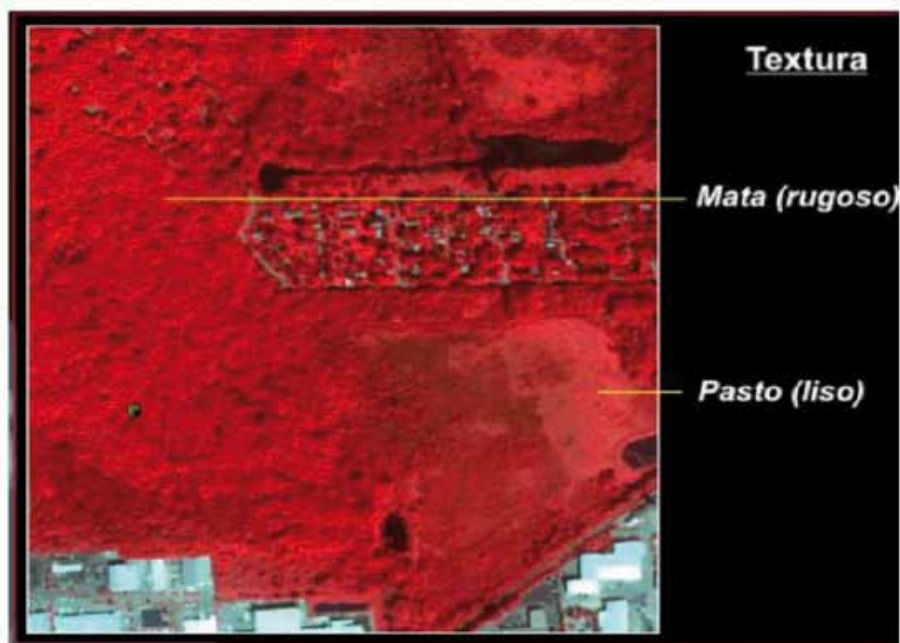


Fig. 18 - Texturas

Sombra



Fig. 19 - Imagem CBERS apresentando a nuvem em branco e a sombra da nuvem em preto, esta última confunde-se com a tonalidade preta da água do açude que está na porção inferior da imagem.

O sistema visual humano possui uma notável capacidade de reconhecer padrões. Contudo, ele dificilmente é capaz de processar o enorme volume de dados e informações presentes em uma imagem. Vários tipos de degradações e distorções oriundas do processo de aquisição das imagens dificultam ainda mais esta atividade pelo olho humano.

A função primordial do processamento digital de imagens de SR é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração das informações sobre fenômenos ou objetos do mundo real contidas nas imagens. Ou ainda, transformar a imagem de tal modo que as informações radiométricas contidas nelas sejam mais facilmente discrimináveis pelo analista.

As técnicas computacionais tentam simular a capacidade do sistema visual humano em reconhecer padrões espectrais nos dados remotamente sensoriados. A grande vantagem do uso do computador no reconhecimento de padrões em relação à interpretação visual, é que eles são capazes de processar um grande volume de informações.

Com relação à terminologia da classificação da imagem no computador, são encontradas na literatura várias expressões sobre esse procedimento, como classificação automática, classificação digital, análise digital, interpretação digital, tratamento digital, etc.

A CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE IMAGENS DE SR CONSISTE NA ASSOCIAÇÃO DE CADA PIXEL DA IMAGEM A UM RÓTULO, OU SEJA, CONSISTE NA ROTULAÇÃO (IDENTIFICAÇÃO) AUTOMÁTICA DE TODOS OS PIXELS CONTIDOS EM DETERMINADA CENA EM CLASSES TEMÁTICAS, SEGUNDO A OCUPAÇÃO DO SOLO.

A informação espectral de uma cena pode ser representada por uma imagem espectral, na qual cada pixel tem coordenadas espaciais x, y (linha e coluna) e uma espectral L (atributo numérico), que representa a radiância do alvo em todas as bandas espectrais, ou seja para uma imagem de K bandas, existem K níveis de cinza associados a cada pixel, sendo um para cada banda espectral.

Quando esse tipo de operação é realizada para todos os pixels da imagem de uma determinada área, o resultado pode vir a ser um mapa temático digital, claro que após essa imagem ter sido reorganizada para se ajustar a uma determinada projeção cartográfica.

13. Processamento Digital de Imagens

As técnicas voltadas para a análise de dados multidimensionais, adquiridos por diversos tipos de sensores, recebem o nome de processamento digital de imagens, ou seja, é a manipulação de uma imagem por computador de modo onde a entrada e a saída do processo são imagens. Usa-se para melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e para fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos.

Um dos principais objetivos do Sensoriamento Remoto (SR) é o de servir de fonte de dados para a identificação dos diferentes materiais ou alvos existentes na superfície terrestre. Esses alvos sejam eles tipos de vegetação, padrões de uso do solo, rochas, água, etc.

Esta identificação é possível devido ao fato dos diferentes materiais, ou mesmo dos mesmos em estágios diferentes, terem comportamentos específicos ao longo do espectro eletromagnético.

Pré-Processamento

Consiste na preparação dos dados de satélites para a classificação. Nesta fase empregam-se técnicas visando melhorar a qualidade dos dados, por exemplo: remoção de ruídos, realce de imagens, correção geométrica e registro, etc.

Realce

A técnica de realce de contraste tem por objetivo melhorar a qualidade das imagens sob os critérios subjetivos do olho humano. É normalmente utilizada como uma etapa de pré processamento para sistemas de reconhecimento

de padrões. O contraste entre dois objetos pode ser definido como a razão entre os seus níveis de cinza médios. A manipulação do contraste consiste numa transferência radiométrica em cada pixel, com o objetivo de aumentar a discriminação visual entre os objetos presentes na imagem. Realiza-se a operação ponto a ponto, independentemente da vizinhança. A escolha do mapeamento direto adequado é, em geral, essencialmente empírica. Entretanto, um exame prévio do histograma da imagem pode ser útil. O histograma de uma imagem descreve a distribuição estatística dos níveis de cinza em termos do número de amostras (pixels) com cada nível. A distribuição pode também ser dada em termos da percentagem do número total de pixels na imagem. Pode ser estabelecida uma analogia entre o histograma de uma imagem e a função densidade de probabilidade, que é um modelo matemático da distribuição de tons de cinza de uma classe de imagens.

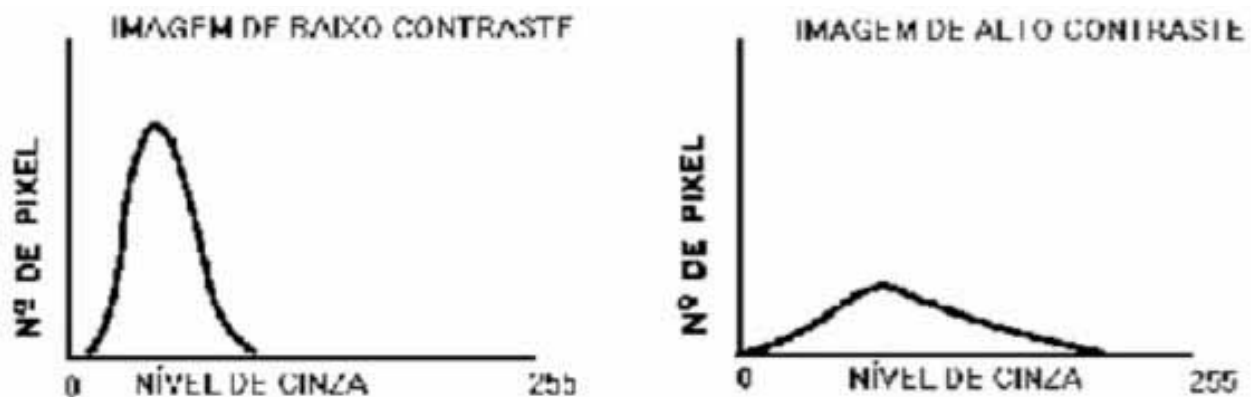


Fig. 16 - Distribuição do nível de cinza nas imagens

Fonte: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_pro.html

Correção geométrica e do registro de imagens

As imagens produzidas por sensores remotos, sejam elas fotografias aéreas ou imagens de satélite, apresentam uma série de distorções espaciais, não possuindo, portanto, precisão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos, superfícies ou fenômenos nelas representados. Erros geométricos resultam das seguintes causas: rotação e curvatura da Terra, movimento do espelho de imageamento, variações da altitude, posição e velocidade da plataforma, distorção topográfica.

Frequentemente, a informação extraída da imagem de sensoriamento remoto precisa ser integrada com outros tipos de informação, representados na forma de mapas, especialmente quando se trabalha com sistemas geográficos de informação, nos quais as imagens de sensoriamento remoto são uma das principais fontes de dados. Por outro lado, os dados contidos em uma imagem de satélite precisam ser apresentados na forma de um mapa, com uma grade de coordenadas geográficas de referência traçada sobre a mesma.

O registro de uma imagem compreende uma transformação geométrica que relaciona coordenadas de imagem (linha, coluna) com coordenadas de um sistema de referência.

Outros termos comuns para a designação do procedimento de registro são geocodificação e georreferenciamento. É importante, contudo, fazer uma distinção clara entre registro e correção geométrica.

- O processo de correção geométrica de imagens elimina as distorções geométricas sistemáticas introduzidas na etapa de aquisição das imagens;
- O registro apenas usa transformações geométricas simples - usualmente transformações polinomiais - para estabelecer um mapeamento entre coordenadas de imagem e coordenadas geográficas. Por isso, sugere-se que o registro seja sempre utilizado como uma técnica que busca refinar a qualidade geométrica de imagens com correção geométrica de sistema.

14. Análise Ambiental

Toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes do ambiente, incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana e seus inter-relacionamentos. Assim, podem-se apontar algumas dimensões dos problemas ligados aos estudos ambientais, onde é grande o impacto do uso da tecnologia e dos recursos de SR. Por exemplo o mapeamento multitemático para subsidiar diagnósticos, avaliações e prognósticos ambientais bem como o ordenamento territorial.

É importante destacar que o critério espectral não é suficiente para discriminar, por exemplo, entre classes de uso da terra (uso “cultural” da terra) em função da hierarquização da informação, ou escala geográfica de análise da máxima generalização ao máximo detalhamento.

- Resolução espacial;
- Métodos de classificação digital X interpretação visual X elementos de reconhecimento;
- Resolução temporal – impactos/mudanças de curto, médio e longo prazos.

15. Exemplos de Aplicação de Tecnologias de Aquisição de Dados para os Diferentes Estudos e Escalas

TECNOLOGIA: Sensoriamento Remoto

NÍVEL GLOBAL (ESCALA 1:25.000.000 a 1:1.000.000):

- Geopolítica
- Levantamento de Recursos Ambientais
- Geológicos
- Camada de Ozônio
- Mudanças Climáticas (efeito estufa, elevação do nível do mar)
- Desmatamento
- Desertificação

TECNOLOGIA: Sensoriamento Remoto e Fotogrametria/Levantamento Geodésico – GPS

NÍVEL REGIONAL OU NACIONAL (1:250.000 a 1:100.000)

- Zoneamentos (planejamentos, monitoramentos e gestão ambiental)
- Florestais (desmatamentos e reflorestamentos)
- Agricultura (previsões de safra)
- Mapas geológicos

TECNOLOGIA: Sensoriamento Remoto, Fotogrametria e GPS

INTERMUNICIPAL (1:100.000 a 1:50.000)

- Gestão de Bacias Hidrográficas
- Transporte
- Planejamentos Hidrológicos
- Planejamentos Energéticos
- Planejamentos Florestais e Agrícolas
- Geológicos, etc

TECNOLOGIA: Sensoriamento Remoto e Fotogrametria

MUNICIPAL (1:50.000 a 1:10.000)

- Gestão Ambiental de Municípios (Planos Diretores, Planejamento Urbano)
- Análise Ambiental (Zoneamentos, EIA/RIMA)
- Projetos de Engenharia (Saneamento, Água, Transportes)
- Regularização Fundiária
- Agricultura (Projetos de Irrigação)
- Geologia, entre outras...

TECNOLOGIA: Satélites de Alta Resolução (Ikonos, Quick Bird), Radares, Fotogrametria, GPS e Topografia Convencional

LOCAL (1:10.000 a 1:2.000)

- Gestão de Municípios (Planos Diretores, Planejamento Urbano e Cadastro Urbano – IPTU)
- Análise Ambiental (Zoneamentos, EIA/RIMA)
- Projetos de Engenharia (Saneamento, Água, Transportes)
- Redes de Concessionárias de Serviços Públicos (Telefonia, etc.)
- Agricultura de Precisão
- Florestas
- Geologia e Geotectônica
- Fenômenos Ambientais Específicos

TECNOLOGIA: Satélites de Alta Resolução (Ikonos, Quick Bird), Radares, Fotogrametria, GPS Topográfico e Topografia Convencional

LOCAL EM DETALHE (1:2.000 a 1:250)

- Aplicações Imobiliárias
- Projetos de Engenharia (construção civil, projetos paisagísticos, estudos de tráfego, sinalização, desapropriação)
- Redes de Concessionárias
- EIA
- Agricultura de Precisão
- Estudos Ambientais de fenômenos específicos e outras...

Sensoriamento X Georreferenciamento

POSICIONAMENTO POR SENSORIAMENTO REMOTO

No posicionamento por sensoriamento remoto, obtêm-se informações geométricas de elementos físicos, de forma indireta, com precisão e confiabilidade devidamente avaliadas, a partir de sensores em nível orbital ou aerotransportados.

Dentre as possibilidades de posicionamento por sensoriamento remoto, são aplicados aos serviços de georreferenciamento de imóveis rurais os seguintes métodos:

- a) Aerofotogrametria;
- b) Radar aerotransportado;
- c) Laser scanner aerotransportado; e
- d) Sensores orbitais (satélites).

Os valores de coordenadas dos vértices obtidos por Sensoriamento Remoto poderão ser adquiridos ou produzidos através de órgão público, empresa pública ou privada e pelo próprio credenciado. Nos casos de empresa privada, credenciado ou profissional contratado, deverão ser habilitados para este fim nos respectivos Conselhos Profissionais e emitir documento de responsabilidade técnica (ART, TRT, dentre outros).

Quando da utilização de produtos obtidos através de aerofotogrametria, radar ou laser scanner aerotransportados, além da especialização e habilitação supramencionadas, deve-se estar devidamente habilitado pelo Ministério da Defesa e possuir homologação da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC).



Pode-se utilizar de imagens de satélites para obtenção de hidrografia, e até adotar vértices desde que o profissional tenha esta habilitação em concelho, não sobrepujando a aplicação.

Posicionamento por aerofotogrametria

Para o posicionamento com dados obtidos por aerofotogrametria deverá ser realizada a avaliação da acurácia posicional absoluta, obedecendo aos seguintes critérios:

- a) O Ground Sample Distance - GSD deverá ser compatível com a feição a ser identificada, devendo ser respeitada a precisão do tipo de limite a ser representado; Utilização de pontos de checagem/verificação, respeitando a proporcionalidade da área, geometria e relevo, objetivando atendimento ao Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC/PCD), conforme Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) e Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais ET-ADGV, ambos da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército;
- b) A classe resultante do cálculo do PEC deverá estar adequada à precisão exigida para o tipo de limite que se deseja representar;
- c) Caso se utilizem pontos de controle, estes não deverão ser utilizados como pontos de checagem;
- d) Para os vértices cujas coordenadas forem determinadas por aerofotogrametria, os valores de precisão posicional serão os valores de Root Mean Square (RMS) obtidos no processo de avaliação da acurácia posicional.

São produtos obtidos por aerofotogrametria:

- a) Ortomosaico;
- b) Ortofotocarta;
- c) Modelo Digital de Terreno - MDT;
- d) Modelo Digital de Superfície - MDS;
- e) Curvas de nível.

Para as feições foto identificáveis, como, por exemplo, limites definidos por cercas, muros, estradas e ferrovias¹⁴, cursos d'água ¹⁵, dentre outros, os produtos indicados são ortomosaicos e ortofotocartas;

- b) Para as feições de difícil definição¹⁶, como por exemplo, linhas de cumeadas, áreas alagadiças, divisor de águas, cristas de encostas, talwegues, dentre outros, os produtos indicados são os ortomosaicos e ortofotocartas, combinados com MDT, MDS ou curvas de nível;

¹⁴ Faixas de domínio materializadas ou eixo/margem para projeção;

¹⁵ Margens de cursos d'água

¹⁶ Feições naturais cujo traçado não seja perfeitamente fotoidentificável e quando o levantamento por técnicas convencionais não garantam a sua exata definição

- c) Para limites inacessíveis os produtos indicados são ortomosaicos ou ortofotocartas combinados com MDT, MDS ou curvas de nível.

Para que serve o Sensoriamento no Georreferenciamento

1. Identificação e delimitação de uso e cobertura do solo

Com sensores que captam faixas do infravermelho próximo (IVP), por exemplo, é possível:

Diferenciar áreas de vegetação natural, culturas agrícolas, pastagens, corpos d'água, solo exposto etc.

Auxiliar na confirmação da ocupação real do imóvel para cruzamento com documentos.

2. Auxílio na interpretação de imagens para apoio à vetorização

Ao trabalhar com ortofotos e imagens de satélite:

O conhecimento das faixas espectrais ajuda a escolher imagens que melhor mostram divisas naturais (rios, cercas vegetais, caminhos).

Facilita a interpretação visual para gerar croquis, polígonos e pontos de controle.

3. Uso de dados de sensores multiespectrais ou hiperespectrais

Sensores como os dos satélites Landsat, Sentinel-2, CBERS e drones com câmeras NIR (infravermelho próximo):

Fornecem informações temporais e temáticas que podem indicar alterações no uso da terra — úteis em processos fundiários ou regularização.

4. Apoio na validação de campo (ground truthing)

A leitura espectral:

Confirma em campo o que é observado remotamente, fortalecendo o mapeamento de feições e limites visíveis.

O posicionamento por aerofotogrametria também pode ser utilizado na determinação de vértices em limites por cerca e vértices referentes a mudanças de confrontação. Independentemente do tipo de limite, o credenciado deverá cercar-se das precauções necessárias em relação ao produto utilizado, de forma que garanta a precisão posicional definida no item 1.4.4 deste manual.

Posicionamento por sensores orbitais

Para o posicionamento com dados obtidos por sensores orbitais deverá ser realizada a avaliação da acurácia posicional absoluta, obtida a partir de relatório de ortorretificação.

Os produtos obtidos a partir de sensores orbitais somente poderão ser utilizados nos serviços de georreferenciamento de imóveis rurais quando as feições definidoras dos limites forem identificáveis na imagem. A resolução espacial deverá ser compatível com a feição a ser identificada, devendo ser respeitadas a precisão do tipo de limite e as exigências definidas no item 1.4.4 deste manual.

Para os vértices cujas coordenadas foram determinadas por sensores orbitais, os valores de precisão posicional serão os valores de Root Mean Square (RMS) obtidos no processo de ortorretificação.

Não se aplica o posicionamento por sensoriamento remoto na determinação de vértices tipo “M”, vértices em limites por cerca e vértices referentes a mudanças de confrontação.

Vértices gerais e métodos

Código	Método de Posicionamento
PG1	Relativo estático
PG2	Relativo estático-rápido
PG6	RTK convencional /RTPPP
PG7	RTK em rede
PG9	Posicionamento por Ponto Preciso
PT1	Poligonação
PT2	Triangulação
PT3	Trilateração
PT4	Triangulateração

Código	Método de Posicionamento	Aplicação
PG1	Relativo estático	Limite Artificial ou Natural
PG2	Relativo estático-rápido	Limite Artificial ou Natural
PG3	Relativo semicinemático	Limite Artificial ou Natural
PG4	Relativo cinemático	Limite Artificial ou Natural
PG5	Relativo a partir de códigos	Limite Natural
PG6	RTK convencional / RTPPP	Limite Artificial ou Natural
PG7	RTK em rede	Limite Artificial ou Natural
PG8	<i>Differential GPS</i> (DGPS)	Limite Natural
PG9	Posicionamento por Ponto Preciso	Limite Artificial ou Natural
PT1	Poligonação	Limite Artificial ou Natural
PT2	Triangulação	Limite Artificial ou Natural
PT3	Trilateração	Limite Artificial ou Natural
PT4	Triangulateração	Limite Artificial ou Natural
PT5	Irradiação	Limite Artificial ou Natural
PT6	Interseção linear	Limite Artificial ou Natural
PT7	Interseção angular	Limite Artificial ou Natural
PT8	Alinhamento	Limite Artificial ou Natural
PT9	Estação Livre	Limite Artificial ou Natural
PA1	Paralela	Limite Artificial ou Natural
PA2	Interseção de Retas	Limite Artificial ou Natural
PA3	Projeção Técnica	Limite Artificial ou Natural
PS1	Aerofotogrametria	Limite Artificial ¹⁹ , Natural ou Inacessível
PS2	Radar aerotransportado	Limite Artificial ¹⁹ , Natural ou Inacessível
PS3	Laser scanner aerotransportado	Limite Artificial ¹⁹ , Natural ou Inacessível
PS4	Sensores orbitais	Limite Artificial ²⁰ , Natural ou Inacessível
PB1	Base cartográfica com precisão conhecida	Limite Artificial ¹⁹ , Natural ou Inacessível
PB2	Base cartográfica sem precisão conhecida	Limite Artificial ²⁰ , Natural ou Inacessível

Restrições ao uso do sensoriamento remoto:

O manual proíbe o uso do sensoriamento remoto para certos tipos de vértices:

Vértices tipo "M" (com marco físico no campo)
Não podem ser definidos por sensoriamento remoto.

Vértices em cerca viva ou física
Não podem ser obtidos por imagem, apenas por levantamento de campo.

Mudança de confrontação
Só podem usar aerofotogrametria como exceção.

Aplicações permitidas:

O uso de imagens é permitido para definição de limites visíveis, como:

Cursos d'água

Estradas e caminhos claros

Transições de vegetação bem definidas

Desde que a feição seja fotointerpretabil, ou seja, claramente visível e reconhecível na imagem utilizada.

Exigências para uso de imagens:

O profissional deve ter registro no CREA e emitir ART específica.

A imagem deve ter resolução compatível com o que se quer identificar.

Deve-se comprovar acurácia posicional absoluta compatível com os padrões do INCRA.

Para utilizar Google Earth ou imagens gratuitas, é preciso verificar a resolução e o nível de confiabilidade. Embora úteis para planejamento e visualização, essas imagens nem sempre atendem às exigências de precisão do INCRA — especialmente na 2ª e 3ª precisões.

Referências Bibliográficas

MOREIRA, M. A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologia de Aplicação. INPE, São José dos Campos.

Conceitos de Geoprocessamento. 3ª edição. UFF Niterói-RJ 2008. SIG APLICADO AO ORDENAMENTO TERRITORIAL MUNICIPAL Programa Nacional de Capacitação das Cidades - MCidades /UFF

FUNDAMENTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO. Elisabete Caria de Moraes.
INPE. São José dos Campos. 2002

SENORIAMENTO REMOTO E PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS. JORGE A. SILVA CENTENO – CURITIBA – 2009.

Manual Técnico para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais – 2ª Edição - INCRA