

Ensino virtual de uso de geotecnologias para cursos de Graduação

Módulo II – Introdução ao Sensoriamento Remoto





CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

2. Introdução ao Sensoriamento Remoto

2.1 Histórico

2.2 Princípios Físicos

2.2.1 Ondas Eletromagnéticas

2.2.2 Interação REM e Matéria

2.3 Comportamento Espectral dos Alvos

2.3.1 Interações entre Energia e a Matéria

2.3.1.1 Introdução: Leis da Radiação

2.3.1.2 Interação da Radiação Solar com a Atmosfera Terrestre

2.3.1.2.1 Interações

2.3.1.2.2 Efeitos Atmosféricos na propagação da REM: Absorção e espalhamento

2.4 Processo de Imageamento com Satélites

2.4.1 O Processo de Imageamento e as Órbitas dos Satélites

2.4.2 Estações de Recepção

2.5 Sensores

2.5.1 Sensores Passivos e Ativos

2.6 Imagem Digital

2.6.1 Forma de Armazenamento

2.6.2 Resolução Espacial

2.6.3 Resolução Espectral

2.6.4 Resolução Radiométrica

2.6.5 Resolução Temporal

2.6.6 Onde ter acesso a Imagens de Satélite: Procedimentos para aquisição

2.7 Conceitos de Processamento Digital de Imagens

2.7.1 Pré-Processamento

2.7.1.1. Correção Radiométrica

2.7.1.2. Correção Atmosférica

2.7.1.3. Correção Geométrica

2.7.2 Classificação de Imagens

2.7.3 Realce de Imagens

2.7.3.1 Ampliação de Contraste

2.7.3.2 Composição Colorida

2.8 Aplicações





INTRODUÇÃO

Esta apostila tem por finalidade servir como uma primeira fonte de consulta ao leitor que pretende iniciar estudos ou adquirir uma compreensão básica da tecnologia e dos princípios do Sensoriamento Remoto (S.R.). O conceito de S.R. bem como suas aplicações se entremeiam em uma relação direta e prática. Fazer uso de S.R. é estar interessado e obter informações, em realizar a coleta de dados ou observações de algum fato ou fenômeno à distância, sem que haja contato físico. Em Medicina, por exemplo, usam-se estas técnicas de S.R. como formas não-invasivas de observar o corpo (ex.: ultra-som, Rx, cintilografia, etc); em Meteorologia, as técnicas de S.R. compõem a fonte de dados para previsão do tempo (imagens de temperatura oceânica, obtidas via satélite); em prospecção de petróleo, o S.R. fornece os dados para a procura de novos poços (Sísmica, magnetometria, etc.).

Entender as Técnicas de S.R. como fonte de dados para problemas espaciais e saber interpretar e manipular estas informações obtidas de forma remota torna-se imprescindível para um profissional conectado as técnicas científicas atuais. Espera-se com este material, fornecer uma introdução ao universo do S.R. e suas aplicações. Expondo uma alternativa as formas convencionais de coleta de informação.

Como idéia preliminar e geral do S.R., apresentamos algumas definições do sensoriamento remoto extraída de alguns livros:

“Utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles.”

Evlyn M. L. de Moraes Novo

“Forma de se obter informações de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico com o mesmo.”

Roberto Rosa

“Processo de medição de propriedades de objetos da superfície terrestre usando dados adquiridos de aeronaves e satélites.”

Robert A. Schowengerdt



2.1. HISTÓRICO

O sensoriamento remoto (SR) teve início com a invenção da câmara fotográfica que foi o primeiro instrumento utilizado e que, até os dias atuais, são ainda utilizadas para tomada de fotos aéreas. A câmara russa de filme pancromático KVR-1000, por exemplo, obtém fotografias a partir de satélites com uma resolução espacial de 2 a 3 m.

As aplicações militares quase sempre estiveram à frente no uso de novas tecnologias, e no S.R. não foi diferente. Relata-se que uma das primeiras aplicações do S.R. foi para uso militar. Para isto foi desenvolvida, no século passado, uma leve câmara fotográfica com disparador automático e ajustável. Essas câmaras, carregadas com pequenos rolos de filmes, eram fixadas ao peito de pombos-correio (Fig. 1.A), que eram levados para locais estrategicamente escolhidos de modo que, ao se dirigirem para o local de suas origens, sobrevoavam posições inimigas. Durante o percurso, as câmaras, previamente ajustadas, tomavam fotos da área ocupada pelo inimigo. Vários pombos eram abatidos a tiros pelo inimigo, mas boa parte deles conseguia chegar ao destino. As fotos obtidas consistiam em valioso material informativo, para o reconhecimento da posição e infra-estrutura de forças militares inimigas. Assim teve início uma das primeiras aplicações do SR.



Figura1.A: Pombo Espião



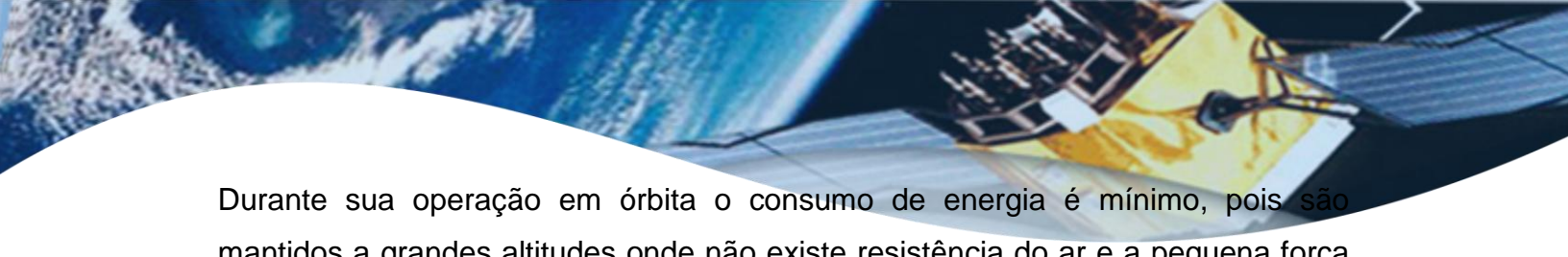
Figura 1.B: o Primeiro satélite lançado (Sputnik_1 – URSS)

No processo evolutivo das aplicações militares, os pombos foram substituídos por balões não tripulados que, presos por cabos, eram suspensos até a uma altura suficiente para tomadas de fotos das posições inimigas por meio de várias câmaras convenientemente fixadas ao balão. Após a tomada das fotos o balão era puxado de volta e as fotos reveladas eram utilizadas nas tarefas de reconhecimento.

Posteriormente, aviões foram utilizados como veículos para o transporte das câmaras. Na década de 60 surgiram os aviões norte americanos de espionagem denominados U2. Estes aviões, ainda hoje utilizados em versões mais modernas, voam a uma altitude acima de 20.000 m o que dificulta o seu abate por forças inimigas. Conduzido por apenas um piloto eles são totalmente recheados por sensores, câmaras e uma grande variedade de equipamentos.

Estes aviões têm sido utilizados também para uso civil. Em 1995, um deles foi utilizado pelos Estados Unidos para monitoramento de queimadas e mapeamentos diversos, nas regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil.

A grande revolução do S.R. aconteceu a partir do lançamento do primeiro satélite artificial realizado pela União Soviética em 4 de outubro de 1957 (Figura 1.B). A partir deste feito teve-se uma aceleração na corrida espacial por parte das duas forças políticas e econômicas dominantes: EUA e URSS. No início da década de 70, com o lançamento dos satélites de recursos naturais terrestres, (Série landSat), este recurso se firmou como um importante meio de aquisição de dados em S.R.. Os satélites, embora demandem grandes investimentos e muita energia nos seus lançamentos, orbitam em torno da Terra por vários anos.



Durante sua operação em órbita o consumo de energia é mínimo, pois são mantidos a grandes altitudes onde não existe resistência do ar e a pequena força gravitacional terrestre é equilibrada pela força centrífuga do movimento orbital do satélite. Estes aparatos espaciais executam um processo contínuo de tomadas de imagens da superfície terrestre coletadas 24 h/dia, durante toda a vida útil dos satélites. Nesta apostila usaremos o termo imagem no lugar de foto de satélite, que têm o mesmo significado, embora o primeiro seja mais tecnicamente utilizado.

A evolução de quatro segmentos tecnológicos principais determinou o processo evolutivo do S.R. por satélites:

a) *Sensores* – são os instrumentos que compõem o sistema de captação de dados e imagens, cuja evolução tem contribuído para a coleta de imagens de melhor qualidade e de maior poder de definição.

b) *Sistema de telemetria* – consiste no sistema de transmissão de dados e imagens dos satélites para estações terrestres, e tem evoluído no sentido de aumentar a capacidade de transmissão dos grandes volumes de dados, que constituem as imagens.


c) *Sistemas de processamento* – consistem dos equipamentos computacionais e softwares destinados ao armazenamento e processamento dos dados do S.R.. A evolução deste segmento tem incrementado a capacidade de manutenção de acervos e as potencialidades do tratamento digital das imagens.

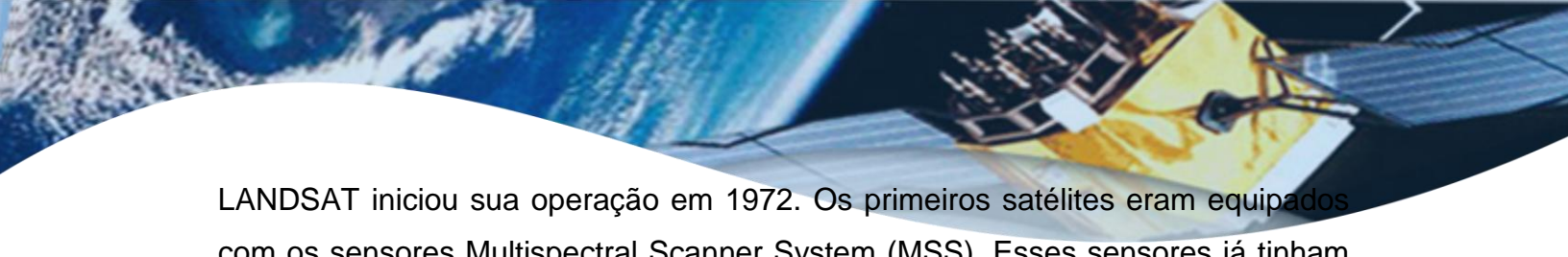
d) *Lançadores* – consistem das bases de lançamento e foguetes que transportam e colocam em órbita, os satélites. A evolução deste segmento tem permitido colocar, em órbitas terrestres, satélites mais pesados, com maior quantidade de instrumentos, e conseqüentemente, com mais recursos tecnológicos.

Na verdade a evolução do SR é fruto de um esforço multidisciplinar que envolveu e envolve avanços na física, na físico-química, na química, nas biociências e geociências, na computação, na mecânica, etc...(…) Nos dias atuais o SR é quase que totalmente alimentado por imagens obtidas por meio da tecnologia dos satélites orbitais.

Existem várias séries de satélites de SR em operação, entre eles podemos citar: LANDSAT, SPOT, CBERS, IKONOS, QUICKBIRD e NOAA. Os satélites das cinco primeiras séries são destinados ao monitoramento e levantamento dos recursos naturais terrestres, enquanto que os satélites NOAA fazem parte dos satélites meteorológicos, destinados principalmente aos estudos climáticos e atmosféricos, mas são também utilizados no S.R.

A seguir, uma descrição resumida de algumas destas séries de satélites. O sistema LANDSAT foi o primeiro a obter de forma sistemática, imagens terrestres sinópticas de média resolução. Desenvolvida pela NASA a série de satélites





LANDSAT iniciou sua operação em 1972. Os primeiros satélites eram equipados com os sensores Multispectral Scanner System (MSS). Esses sensores já tinham a capacidade de coletar imagens separadas em bandas espectrais em formato digital, cobrindo a cada imagem uma área de 185km X 185km, com repetição a cada 18 dias. A série passou por inúmeras inovações, especialmente os sistemas sensores que atualmente obtêm imagens em 7 bandas espectrais. O último da série, o LANDSAT 7, é equipado com os sensores ETM (Enhanced Thematic Mapper) e PAN (Pancromático). O termo Pancromático significa uma banda mais larga que incorpora as faixas espectrais mais estreitas, por esta razão a quantidade de energia da banda Pancromática chega ao

satélite com maior intensidade e isto possibilita ao sensor uma definição melhor. O Pancromático do LANDSAT chega a uma resolução espacial de 15 m. Os satélites desta série deslocam a uma altitude de 705 km, em órbita geocêntrica circular, quase polar e heliossíncrona, isto é, cruzam um mesmo paralelo terrestre sempre no mesmo horário.

No período diurno o Landsat cruza o equador às 9:50 h. Ao longo da história do SR até o ano de 2004, a série LANDSAT foi a que mais produziu e forneceu imagens civis para todos tipos de estudos e aplicações.

O sistema SPOT (Systeme Probatoire d'Observation de la Terre) foi planejado pelo governo francês em 1978, com a participação da Suécia e Bélgica, e gerenciado pelo Centro Nacional de Estudos Espaciais (CNES), entidade responsável pelo desenvolvimento do programa e operação dos satélites. O SPOT-1 foi lançado em fevereiro de 1986, o SPOT-2 em 1989 e o SPOT-3 em 1993, todos com características semelhantes. O SPOT-4, lançado em 1998, incorpora mais um canal no modo multi-espectral (XS) e um novo sensor para monitoramento da vegetação. As características básicas do sistema SPOT são: Altitude 832 km; velocidade 13,3 km / s; área coberta por cena 60km X 60km; peso 1870 kg; dimensões 2m X 2m X 4,5m; taxa de transmissão de dados 50 Mbits / s; passagem diurna em órbita descendente às 10:30 h. O sistema sensor do SPOT, HRVIR (High Resolution Visible and Infra-Red) capta imagens em 4 faixas espectrais (XS1, XS2, XS3 e XS4) com resolução de 20m e uma banda Pancromática (P) com resolução de 10m. O sensor de vegetação tem resolução de 1.165m. Uma característica interessante do SPOT é possibilitar o imageamento fora do nadir (o termo nadir é utilizado para definir a perpendicular à superfície terrestre a partir do satélite). O instrumento sensor pode ser direcionado para os dois lados (leste e oeste), de 0° a 27°, permitindo a obtenção de imagens dentro de uma faixa de 950 Km de largura, centrada no plano da órbita do satélite. Esta técnica, conhecida como visada lateral, permite uma rápida capacidade de revista em áreas específicas. Próximo ao equador uma mesma área pode ser observada, em média, a cada 3,7 dias. Este recurso, por demandar tarefas operacionais adicionais, tem custo relativamente alto.

Os satélites meteorológicos da série NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) orbita a uma altitude de 840 Km e coletam dados atmosféricos globais, especialmente sobre as regiões polares e são também heliossíncronos. Operam em órbita circular, quase polar cujo plano orbital faz um ângulo de aproximadamente 9º com o eixo terrestre e período orbital em torno de 102 minutos. Existem sempre 2 satélites NOAA em operação que atuam de forma complementar, um percorre a órbita ponto no início da madrugada e no início da tarde, enquanto o outro passa no início da manhã e no início da noite. Portanto os imageamentos são realizados a cada seis horas.

Em 1999 estavam em operação os satélites NOAA-14 e NOAA-15. O sistema sensor de imageamento do NOAA é o AVHRR (Advancing Very High Resolution Radiometer). O AVHRR e demais sensores do NOAA destinam-se principalmente a estudos globais relacionados a: cobertura vegetal; discriminação e distribuição de nuvens; separação terra-água; avaliação da extensão da cobertura de neve e gelo; determinação das temperaturas superficiais dos mares e oceanos; levantamento do perfil vertical da temperatura da atmosfera, conteúdo de vapor de água na atmosfera; conteúdo de ozônio; medição do fluxo de partículas provindas do Sol e incidentes na superfície terrestre.

Data	Evento
1822	Desenvolvimento da teoria da luz: Newton : decomposição da luz branca Utilização de uma câmara primitiva
1839	Desenvolvimento de equipamentos ópticos: Pesquisa de novas substâncias fotossensíveis
1859	Utilização de câmaras fotográficas a bordo de balões
1903	Utilização de fotografias aéreas para fins cartográficos
1909	Tomadas de fotografias aéreas por aviões
1930	Coberturas sistemáticas do território para fins de levantamento de recursos naturais
1940	Desenvolvimento de equipamentos para radiometria sensíveis à radiação infravermelha Utilização de filmes infra-vermelho na II Guerra , para detecção de camuflagem
1944	Primeiros experimentos para utilizar câmaras multiespectrais
1954	Desenvolvimento de radiômetros de microondas Testes iniciais visando a construção de radares de visada lateral
1961	Desenvolvimento de processamentos ópticos e digitais Primeiros radares de visada lateral
1962	Desenvolvimento de veículos espaciais tripulados e não tripulados Lançamentos de satélites meteorológicos Primeira fotografia orbital MA-4-Mercury
1972	Fotografias orbitais tiradas pelo programa Gemini Surgem outros programas espaciais envolvendo satélites de recursos naturais: SEASAT, SPOT, ERS, LANDSAT
1972	Desenvolvimento do programa LANDSAT
1983	Lançamento do LANDSAT 4, SIR-A, SIR-B, MOMS
1986	Desenvolvimento do programa SPOT
1991	Desenvolvimento do programa ERS
1995..	Continuidade de pesquisas com vistas a melhoria dos sistemas existentes e criação de novos sistemas



2.2. PRINCÍPIOS FÍSICOS

Os princípios físicos consistem em uma compilação das leis e relações físicas usadas no entendimento do S.R.. Os conceitos básicos que devemos compreender em S.R. são os princípios das radiações, as ondas (mecânicas ou eletromagnéticas) e a interação da radiação com a matéria.

2.2.1. ONDAS ELETROMAGNÉTICAS


Experiências de Newton (1672) constataram que um raio luminoso (luz branca), ao atravessar um prisma, desdobrava-se num feixe colorido - um espectro de cores. Desde então os cientistas foram ampliando os seus estudos a respeito de tão fascinante matéria. Verificaram que a luz branca era uma síntese de diferentes tipos de luz, uma espécie de vibração composta, basicamente, de muitas vibrações diferentes. Prosseguindo, descobriram ainda que cada cor decomposta no espectro correspondia a uma temperatura diferente, e que a luz vermelha incidindo sobre um corpo, aquecia-o mais do que a violeta. Além do vermelho visível, existem radiações invisíveis para os olhos, que passaram a ser ondas, raios ou ainda radiações infravermelhas. Logo depois, uma experiência de Titter revelou outro tipo de radiação: a ultra-violeta. Sempre avançando em seus experimentos os cientistas conseguiram provar que a onda de luz era uma onda eletromagnética, mostrando que a luz visível é apenas uma das muitas diferentes espécies de ondas eletromagnéticas.

As ondas eletromagnéticas, que aqui chamaremos de radiação eletromagnética (REM), podem ser consideradas como “termômetros-mensageiros” do SR. Elas não apenas captam as informações pertinentes às principais características das feições terrestres, como também as levam até os satélites. A radiação eletromagnética pode ser definida como sendo uma propagação de energia, por meio de variação temporal dos campos elétrico e magnético, da onda portadora.

A completa faixa de comprimentos de onda e de frequência da REM é chamada de espectro eletromagnético (Fig. 2.A e 2.B). Este espectro varia desde as radiações gama com comprimentos de onda da ordem de 10^{-6} μm , até as ondas de rádio da ordem de 100 m.

A pequena banda denominada **luz** compreende o conjunto de radiações para as quais o sistema visual humano é sensível.

As bandas **infravermelhas** são geradas em grande quantidade pelo Sol, devido à sua temperatura elevada; entretanto podem também ser produzidas por objetos aquecidos (como filamentos de lâmpadas).



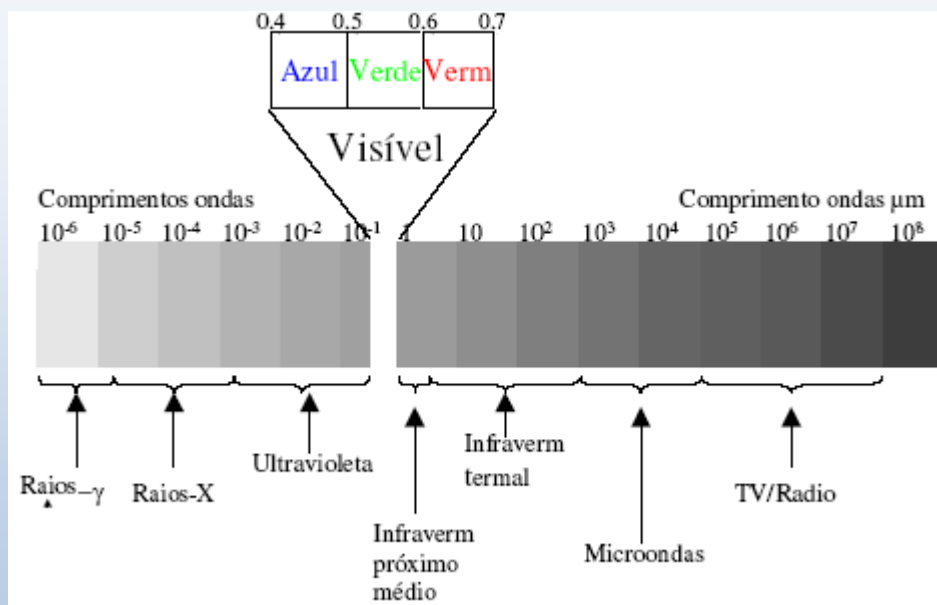


Fig. 2.A. - Espectro eletromagnético

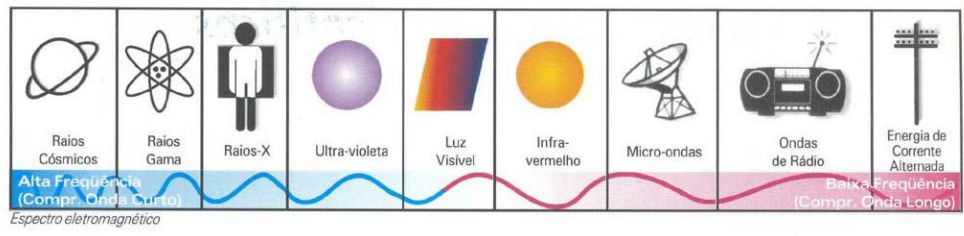


Fig. 2.B. – Compreensão do espectro eletromagnético

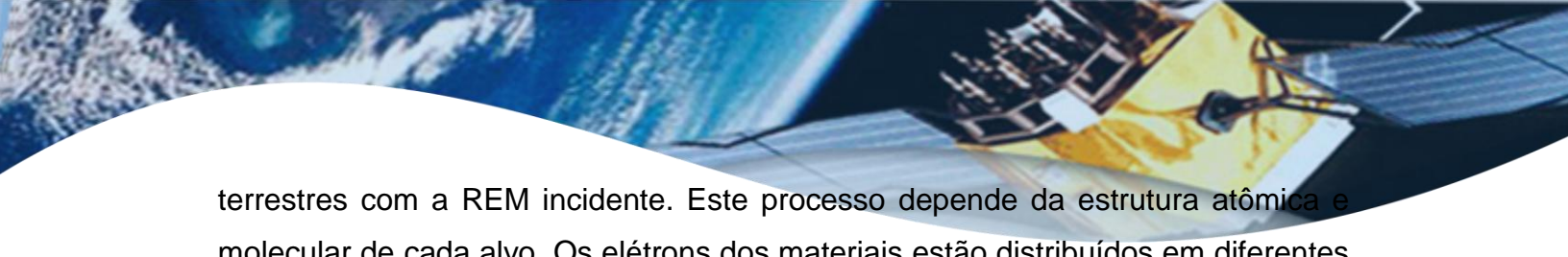
O SR passivo, que será definido mais adiante, utiliza apenas pequenas faixas deste espectro que consiste da luz visível, e do infravermelho, ambas provenientes do sol, e da faixa de ondas termais emitidas pela Terra. A luz visível corresponde as faixas de comprimento de onda entre 0,4 μm e 0,7 μm , o infravermelho a faixa de 1 μm a 2,5 μm e o termal entre 2,5 μm a 13 μm . A radiação proveniente do sol que incide sobre a superfície da terra é denominada de *irradiância*, e a radiação que deixa a superfície terrestre é denominada de *radiância*.

O SR ativo, que será definido mais adiante, utiliza ondas de radar no processo de imageamento. Estes sistemas operam com microondas nas faixas de 0,8 cm a 1,1 cm, de 2,4 cm a 3,8 cm e de 15 cm a 30 cm.

Os princípios físicos do SR estão intimamente relacionados à REM. Ela é um elo indispensável no processo de obtenção dos dados do SR. A REM é o veículo que leva as informações das características das feições terrestres até os satélites. Sem ela o SR simplesmente não existiria.

2.2.2. INTERAÇÃO REM E MATÉRIA

O comportamento espectral, (também chamado de assinatura espectral), dos alvos está relacionado ao processo de interação entre os objetos e feições

A satellite in space, with solar panels and a yellow thermal blanket, against a blue and white background of Earth and space.

terrestres com a REM incidente. Este processo depende da estrutura atômica e molecular de cada alvo. Os elétrons dos materiais estão distribuídos em diferentes níveis energéticos, em torno dos núcleos de seus átomos. Estes níveis eletrônicos podem absorver maior ou menor quantidade da energia da REM. Esta absorção implica na diminuição da quantidade de energia da REM refletida pela matéria, em certas faixas do espectro eletromagnético, faixas estas denominadas bandas de absorção.

A intensidade, largura e localização das bandas de absorção dependem do material do alvo e resultam de três processos:

a) Rotacional – Se verifica a nível molecular e é onde ocorre a absorção da banda localizada nas faixas do infravermelho distante e microondas.

b) Vibracional – também acontece no nível molecular e é responsável pelas bandas de absorção situada entre 1,0 μm e 2,5 μm .


c) Eletrônico – ocorre a nível atômico que é subdividido em dois tipos:

1- Transferência de carga, responsável pelas bandas de absorção com comprimentos de onda inferiores a 0,4 μm , principalmente nas regiões do ultravioleta;

2- Efeito do campo cristalino, responsável pelas bandas de absorção situadas nas faixas do visível e do infravermelho. As absorções decorrentes do processo vibracional são muito mais incisivas e estreitas, enquanto as absorções do processo eletrônico são mais suaves e largas.

2.3. COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS ALVOS

A radiação solar incidente na superfície terrestre interage de modo diferente com cada tipo de alvo. Esta diferença é determinada principalmente pelas diferentes composições físico-químicas dos objetos ou feições terrestres. Estes fatores fazem com que cada alvo terrestre tenha sua própria *assinatura espectral*. Em outras palavras, cada alvo absorve ou reflete de modo diferente cada uma das faixas do espectro da luz incidente (Fig. 3.A). Outros fatores que também influenciam no processo de interação dos alvos são: textura, densidade e posição relativa das feições em relação ao ângulo de incidência solar e à geometria de imageamento. Em decorrência desta interação, a radiação que deixa os alvos, leva para os satélites a assinatura espectral dos mesmos. Os sistemas sensores instalados nos satélites são sensíveis a estas diferenças, que as registram em forma de imagens. É importante mencionar que tanto a irradiância (REM que chega aos alvos) como a radiância (REM que deixa os alvos) são fortemente afetadas em suas trajetórias pelos componentes atmosféricos. Áreas nubladas, por exemplo, são impossíveis de serem imageadas por meio da luz solar.

A satellite in space, with solar panels and a yellow thermal blanket, against a blue and white background of Earth and space.

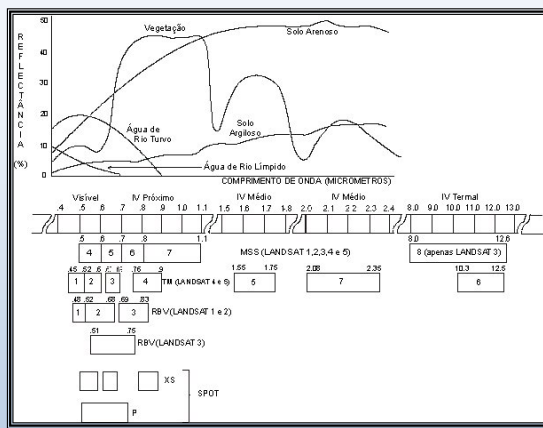


Fig. 3.A - Gráfico comprimento de onda Vs. Percentual de reflectância de alguns alvos

Nos minerais e rochas, os elementos e substâncias mais importantes que determinam as bandas de absorção são os íons ferroso e férrico, água e hidroxila. A assinatura espectral dos solos é função principalmente da porcentagem de matéria orgânica, granulometria, composição mineral, umidade e capacidade de troca catiônica.

O aumento do conteúdo de matéria orgânica no solo provoca aumento na absorção espectral, na faixa do espectro reflexivo (0,4 µm a 2,5 µm). Quanto a granulometria, o aumento da concentração de minerais félsicos (textura de granulação muito fina) e a conseqüente diminuição do tamanho das partículas incrementa a reflectância atenuando as bandas de absorção. O contrário se verifica na medida em que aumenta a concentração de minerais máficos (rochas ou minerais ricos em ferro e magnésio). Os solos úmidos refletem menos que os solos secos no espectro reflexivo. O aumento da capacidade de troca catiônica também aumentam a absorção da REM.

A vegetação tem, na região do visível, um pico de absorção decorrente de forte absorção dos pigmentos do grupo da clorofila (Fig. 3.B). Existem duas bandas de absorção distintas. Uma delas situada próximo a 0,48 µm devido a presença de carotenos. A outra próxima a 0,68 µm, relacionada ao processo da fotossíntese. Entre estes dois pontos de absorção existe um pico de reflectância em torno de 0,5 µm, correspondente à região da cor verde do espectro visível, o que explica a coloração verde das plantas. Outra característica marcante do comportamento espectral da vegetação é a existência de uma região de alta reflectância na região entre 0,7 µm a 1,3 µm que está associada à estrutura celular interna da folha. Esta característica decorre do comportamento natural da vegetação, visando manter o equilíbrio no balanço de energia no interior da planta, evitando um superaquecimento e a conseqüente destruição da clorofila. Dois outros picos de absorção ocorrem nas regiões próximas a 1,4 µm e 1,9 µm devido a presença de água na folha. Embora as características anteriores sejam fundamentais para o estudo da vegetação, elas dizem respeito a uma folha isolada, portanto não podem ser consideradas com tal precisão, para uma cobertura vegetal. O

comportamento espectral de uma cobertura vegetal tem algumas diferenças quando comparadas a uma folha isolada, devido a influência de fatores diversos como parcelas de solo não cobertas pelas plantas, ângulo de iluminação solar e orientação das folhas. Na verdade a medida da reflectância espectral da vegetação é um pouco mais complexa, pois ela é afetada por diversos fatores, tais como: condições atmosféricas, características das parcelas de solo, índice de área foliar (cobertura vegetal por unidade de área), estado fenológico (estado de desenvolvimento da planta), biomassa (densidade de massa verde), folha (forma, posição, conteúdo de água, pigmentação, estrutura interna, etc.), geometria (de iluminação, de imageamento, sol / superfície / satélite).

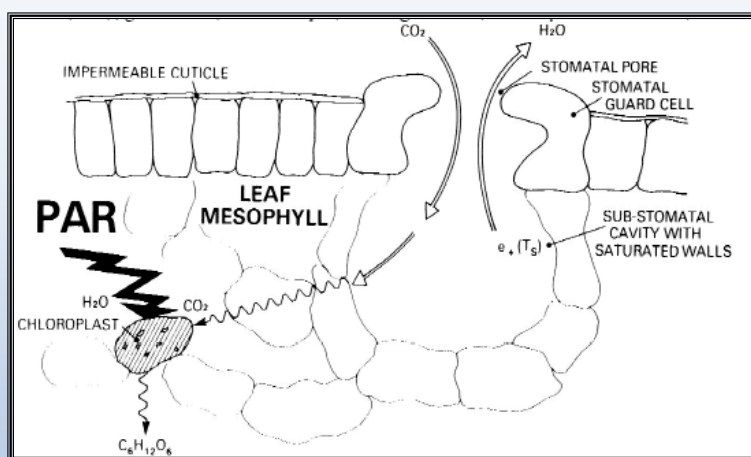


Fig. 3.B - Estrutura foliar

Água limpa absorve mais a luz que água suja. Ao longo do espectro, a água vai diminuindo a reflectância a medida em que se desloca para comprimentos de ondas maiores. Na região do visível, mais especificamente nas faixas do azul e verde, observa-se significativa reflectância da água, diminuindo-se gradualmente na direção do infravermelho.

2.3.1 - INTERAÇÕES ENTRE A ENERGIA E A MATÉRIA

2.3.1.1 INTRODUÇÃO: LEIS DA RADIAÇÃO

Para explicar as variações de intensidade da radiação eletromagnética, ao longo de espectro solar, foram criadas as chamadas leis da radiação. Para poder discutir essas leis da radiação, é preciso ter em mente que todo corpo cuja temperatura esteja acima do zero grau absoluto (-273°C ou zero Kelvin) absorve ou emite REM.

Para elucidar este fenômeno de emissão dos corpos, inclusive o Sol, foi criado um modelo teórico denominado de CORPO NEGRO. Segundo este modelo o CORPO NEGRO tem a propriedade de absorver e/ou emitir toda energia que nele incidir, independente da faixa espectral e da direção da radiação. Note que o processo é simétrico. As leis da radiação descritas a seguir explicam o fenômeno de emissão da radiação.



A) Lei de Plank – Explica a radiação emitida por um corpo negro em todo o EE.

$$E_{\lambda\delta} = \frac{C_1}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]}$$

Equação 01 – Lei de Planck

B) Lei de Wien- Determina qual é o comprimento de onda em que a radiação emitida é máxima

$$\lambda_{\max} = \frac{0.0028976m}{T}$$

Equação 02 – Lei de Wien

C) Lei de Stefan-Boltzmann- Determina a radiação total emitida por um corpo em todo seu espectro.

$$M = \sigma \cdot T^4$$


Equação 03 – Lei de Steffan Boltzmann

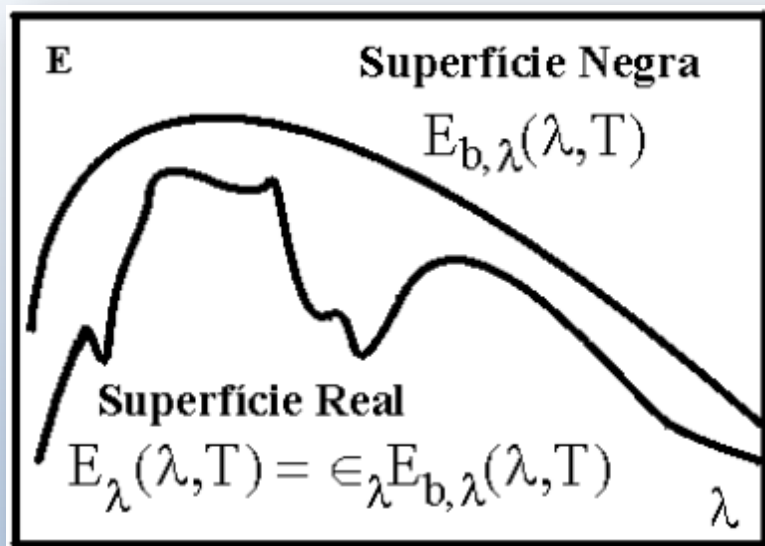
D) Lei de Kirchoff- Relaciona a radiação emitida por um corpo real com a emissão de um corpo negro.

$$\varepsilon = \frac{E}{E_b} \text{ ou } \varepsilon_{\lambda} = \frac{E_{\lambda}}{E_{b\lambda}}$$

Equação 04 – Lei de Kirchoff

De onde temos, por observação:





Unidades de medida da REM

As unidades de medida da REM podem ser visualizadas a seguir. Só para ilustrar as unidades para a frequência:

$$1\text{KHz} = 10^3 \text{ Hertz}$$

$$1\text{MHz} = 10^6 \text{ Hz}$$

$$1\text{GHz} = 10^9 \text{ Hz}$$

Para comprimento de onda:

$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1\text{nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

$$1\text{mm} = 10^{-6} \text{ m}$$

2.3.1.2. INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR COM A ATMOSFERA TERRESTRE

2.3.1.2.1. INTERAÇÕES

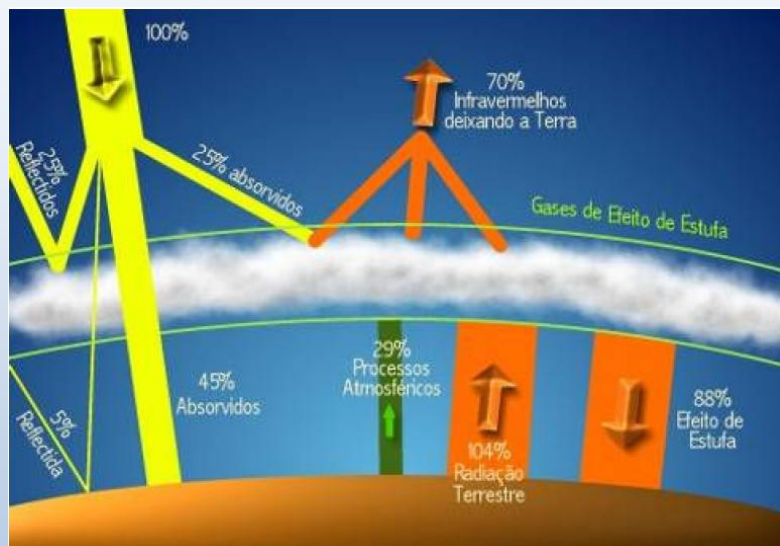
Toda substância com temperatura superior à de zero absoluto (zero Kelvin ou -273°C) emite radiação eletromagnética, como resultado de suas oscilações atômicas e moleculares. Essa radiação emitida pode incidir sobre a superfície de outra substância podendo ser refletida, absorvida ou transmitida. No caso da

absorção, a energia é geralmente reemitida, normalmente com diferentes comprimentos de onda.

O fluxo total de energia solar no topo da atmosfera é de aproximadamente 2 cal/cm²min. Entretanto quando a radiação solar penetra na atmosfera terrestre, sofre atenuações causadas pelos processos de reflexão, espalhamento e absorção ocasionados pelos constituintes atmosféricos, por partículas dispersas e pelas nuvens. Estes processos constituem o que conhecemos como atenuação. Isso faz com que a radiação global que chega na superfície terrestre esteja fortemente atenuada, tendo-se uma perda total de 53% da radiação global que corresponde a 1,06 cal/cm²min.

A radiação solar sofre vários processos de refração (mudança de trajetória de um feixe de radiação, quando este passa de um meio menos denso para um mais denso) porque a concentração dos gases que compõem a atmosfera é bastante variada nas diferentes zonas (camadas).

Certos gases constituintes, como o Ozônio e o CO₂, absorvem a radiação solar em certos comprimentos de ondas. Essa absorção pode ser total, como é o caso da radiação ultravioleta (absorvida pelo Ozônio) ou parcial, como ocorre em quase todo o espectro a partir de 0,3 μm. Na imagem a seguir podemos identificar estas características.



Existem outros fatores que provocam o espalhamento da radiação como partículas dispersas e presença de nuvens. As nuvens são a maior barreira à radiação solar, do ponto de vista do SR, porque elas impedem a passagem da radiação solar na porção reflectiva do EE, onde operam a maioria dos sistemas sensores.

2.3.1.2.2. EFEITOS ATMOSFÉRICOS NA PROPAGAÇÃO DA REM: ABSORÇÃO E ESPALHAMENTO

Embora a primeira vista a atmosfera pareça ser transparente à luz, ela não é. Situada entre o alvo e o sistema sensor, ela é um dos fatores que mais interferem nos resultados de SR. Assim, devemos sempre considerar os seguintes fatores associados à atmosfera, os quais interferem no Sensoriamento Remoto: Absorção, efeitos de massa de ar, espalhamentos devido a moléculas gasosas ou partículas em suspensão, refração, turbulência, emissão de radiação pelos constituintes atmosféricos, etc...

Desse modo, concluímos que a atenuação da radiação é dada por:

$$\text{ATENUAÇÃO} = \text{ABSORÇÃO} + \text{ESPALHAMENTO}$$

ABSORÇÃO: a energia de um feixe de radiação eletromagnética é transformada em outras formas de energia e reemitida em outros comprimentos de onda. A REM ao se propagar pela atmosfera é absorvida seletivamente pelos seus vários constituintes, tais como: vapor d'água, ozônio, dióxido de carbono.

No processo de absorção, a energia de um feixe é absorvida, transformada em outras formas e reemitida em outros comprimentos de onda.

Os gases presentes na atmosfera, através da absorção e reflexão, atenuam e modificam a REM original emitida pelo alvo. Por outro lado, as regiões do espectro que possuem uma alta transmitância da atmosfera (ou fraca absorção), as conhecidas por janelas atmosféricas, são de suma importância no SR. São nestas janelas que as medidas de SR são feitas.

As principais janelas atmosféricas utilizadas são:

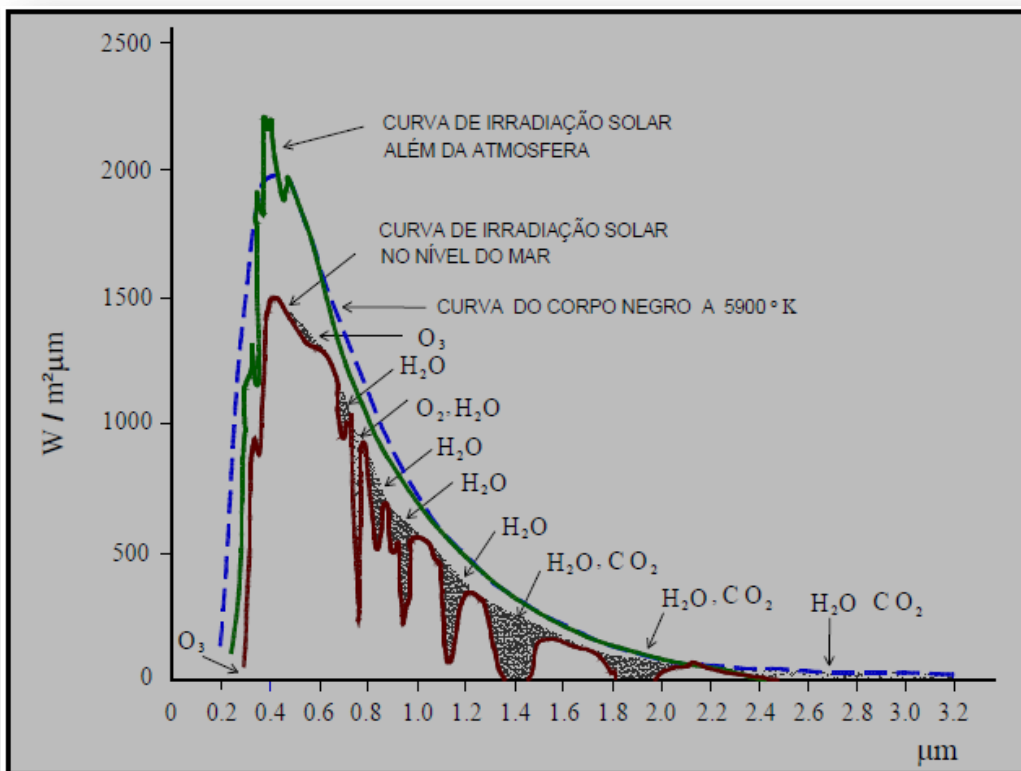
0,3	1,3	μm	Ultravioleta – infravermelho próximo
1,5	1,8	μm	Infravermelho próximo
2,0	2,6	μm	Infravermelho próximo
3,0	3,6	μm	Infravermelho médio
4,2	5,0	μm	Infravermelho médio
8,0	14,0	μm	Infravermelho termal
2,06	2,22	nm	Microondas
3,00	3,75	nm	Microondas

Dentro das faixas do ultravioleta e visível, o ozônio é o principal atenuador por absorção, embora em muitos casos esta absorção pode ser desprezada em função de ser muito pequena. Enquanto que na faixa do infravermelho o vapor d'água e o dióxido de carbono são os principais atenuadores.

O gráfico abaixo mostra a energia radiante do Sol incidindo sobre a Terra, para cada comprimento de onda. Irradiância Espectral (Fluxo Radiante por unidade de área e comprimento de onda X variação de comprimento de onda).

O gráfico apresenta 3 curvas:

- a) a Irradiância Solar no topo da atmosfera
- b) a Irradiância Solar ao nível do mar
- c) a curva de Irradiância de um corpo negro à temperatura de 5900K.




A análise do gráfico permite predizer que:

- o máximo de energia disponível está entre 0,4 μm a 0,7 μm (Região Visível do EEM)

- existem regiões do EEM para as quais a atmosfera é opaca, i.e., não permite a passagem da REM (bandas de absorção da atmosfera) [principais constituintes atmosféricos responsáveis pela absorção da radiação solar: O3 (Ozônio), O2, (Oxigênio), H2O (vapor d'água) e CO2(gás carbônico).

- existem regiões do EEM para as quais a atmosfera é transparente à REM, i.e., permite a passagem da REM proveniente do Sol (janelas atmosféricas)



ESPALHAMENTO: é um processo físico que resulta da obstrução das ondas eletromagnéticas por partículas existentes nas suas trajetórias ao penetrarem na atmosfera terrestre. Essa obstrução pode ser tanto da energia incidente quanto da energia re-irradiada (refletida). Na atmosfera, as partículas responsáveis pelo espalhamento de energia apresentam tamanhos variáveis. Há desde moléculas de gases naturais até grandes gotas de chuva e partículas de granizo, conforme é mostrado na tabela abaixo. A intensidade e a direção do espalhamento depende fortemente da razão entre os diâmetros das partículas presentes na atmosfera e do comprimento de onda da energia eletromagnética incidente ou re-irradiada.

- existem regiões do EEM para as quais a atmosfera é transparente à REM, i.e., permite a passagem da REM proveniente do Sol (janelas atmosféricas)


Partículas presentes na atmosfera e seus respectivos tamanhos	
Partícula	Varição no diâmetro (μm)
Fumaça, bruma	0,001 – 0,5
Fumos industriais	0,5 – 50
Poeira	1 – 5
Neblina, nuvens	2 – 30
Névoa	20 – 50
Garoa	50 – 200
Chuva	200 – 2000

Espalhamento: a energia de um feixe de radiação eletromagnética é removida por mudança de direção. Ao interagir com a atmosfera, pelo processo de espalhamento, gerará um campo de luz difusa, que se propagará em todas as direções.

Dependendo do tamanho dos elementos espalhadores e do comprimento de onda da radiação, pode-se distinguir três tipos de espalhamento:

a) Espalhamento Molecular ou Rayleigh: produzido essencialmente por moléculas dos gases da atmosfera que espalham mais eficientemente a energia eletromagnética de menores comprimentos de onda. Quando a relação entre o diâmetro da partícula e o comprimento da onda eletromagnética é menor que λ ($\lambda < \lambda$). A quantidade de radiação espalhada é inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda ($E = \lambda^{-4}$), afetando pequenos comprimentos de onda pertencentes a região do visível, i.e, os comprimentos de onda menores são mais espalhados.

Quanto menor o comprimento de onda, maior o espalhamento: Isto explica a coloração azul do céu, onde o comprimento de onda nesta faixa é menor. Isso provoca um efeito de “haze” (presença de brumas) nas fotografias ou imagens.





Ex: $\lambda = 440\text{nm}$ (luz azul) será espalhada cerca de seis vezes mais que a luz vermelha $\lambda = 770\text{nm}$.

b) Espalhamento MIE: ocorre quando o diâmetro das partículas presentes na atmosfera são da mesma ordem ou próximos ao tamanho do comprimento de onda da radiação. Quando $d = \lambda$, o espalhamento será proporcional a λ/λ^2 . Se o diâmetro for da ordem de $d = (3/2)\lambda$, o espalhamento será proporcional a λ/λ . Afeta comprimentos de onda maiores na região do visível.

c) Espalhamento não seletivo: ocorre quando os diâmetros das partículas são muito maiores que o comprimento de onda, ($d \gg \lambda$). Neste caso o tamanho das partículas existente na atmosfera deixa de ter influência no espalhamento.

Isto é, o espalhamento vai se tornando independente do comprimento de onda à medida que aumenta o tamanho das partículas. A radiação de diferentes comprimentos de onda será espalhada com igual intensidade. Afeta todos os comprimentos de onda igualmente, resultando na aparência branca das nuvens e a formação de neblina.

- A atenuação da radiação pode explicar ainda a cor avermelhada do entardecer, isto é devido: a maior espessura de atmosfera que a radiação tem de atravessar, e onde ficam retidos os menores comprimentos de onda (azul) da luz, deixando passar a componente vermelha da luz solar.

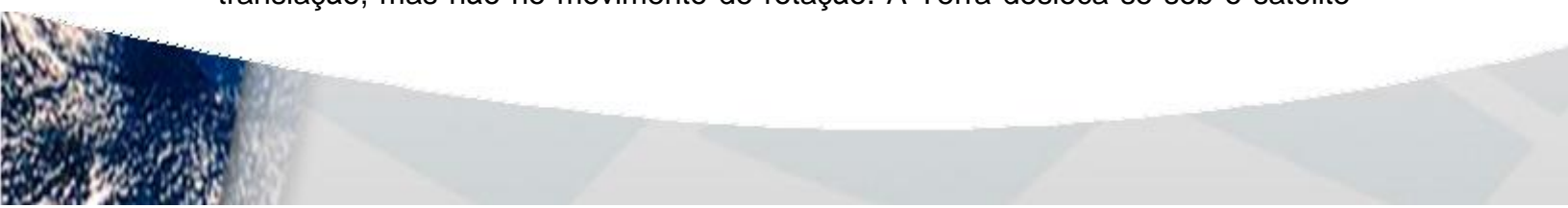
- Devido os fatores de atenuação é importante um planejamento antes da aquisição dos dados e dos processos de interpretação.

- Tanto no processo de planejamento de aquisição de dados por sensores remotos, quanto no processo de interpretação, é importante levar em consideração o fenômeno de espalhamento, pois a radiação eletromagnética coletada pelo sistema sensor não provém somente o alvo, uma vez que a radiação espalhada pela atmosfera e por outros alvos poderá também atingir o sistema sensor, mascarando, total ou parcialmente, a informação desejada. Na prática, os quatro processos: emissão, absorção, reflexão e transmissão ocorrem simultaneamente e suas intensidades relativas caracterizam a substância em investigação. Dependendo das características físicas e químicas da mesma, aqueles quatro processos ocorrem com intensidades diferentes em diferentes regiões do espectro. Esse comportamento espectral das diversas substâncias é denominado assinatura espectral e é utilizado em Sensoriamento Remoto para distinguir diversos materiais entre si.

2.4. PROCESSO DE IMAGEAMENTO COM SATÉLITES

2.4.1. O PROCESSO DE IMAGEAMENTO E AS ÓRBITAS DOS SATÉLITES

Os satélites não geo-estacionários, acompanham a Terra no movimento de translação, mas não no movimento de rotação. A Terra desloca-se sob o satélite



no movimento de rotação. Graças a isto, um satélite dito de órbita polar, com o movimento de pólo a pólo, combinado com o movimento de rotação terrestre em torno de seu eixo, faz com que os satélites de SR. cubram praticamente todas as regiões do Globo (Fig. 4.A). Enquanto o satélite realiza uma volta completa em torno da Terra (aproximadamente 100 a 103 minutos para os satélites LANDSAT e NOAA), a Terra gira, sob o satélite, um arco ao longo do equador, de aproximadamente 3000 km, por exemplo. Portanto, órbitas sucessivas destes satélites, têm uma distância de aproximadamente 3000 km, uma da outra. As faixas imageadas pelos satélites têm largura inferior a estes 3000 km, (no caso do LANDSAT a faixa imageada é de 185 km), por isto, entre passagens sucessivas do satélite, uma grande faixa fica sem imageamento.

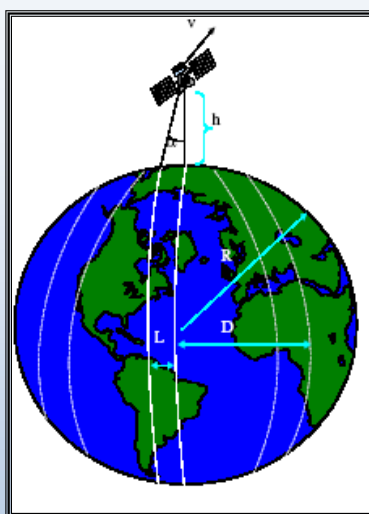


Fig. 4.A. - Faixas imageadas

2.4.2. ESTAÇÕES DE RECEPÇÃO

Outro importante componente no processo de imageamento não está no céu. São as estações

terrestres de recepção de imagens. Elas têm por finalidade receber e armazenar as imagens

transmitidas a partir dos satélites. São estrategicamente instaladas em locais adequados à região que se pretende obter imagens (Fig. 4.B.).



Fig. 4.B – Parte das estações de recepção de imagens LANDSAT (não constam da figura: Argentina, Chile, Kenya, Mongólia e outras)

A estação brasileira para recepção de imagens CBERS, LANDSAT e SPOT, cujo principal objetivo é cobrir o território nacional, está instalada em Cuiabá –MT (Fig. 4.C.). De lá a estação cobre não só o Brasil, mas também boa parte da América do Sul.

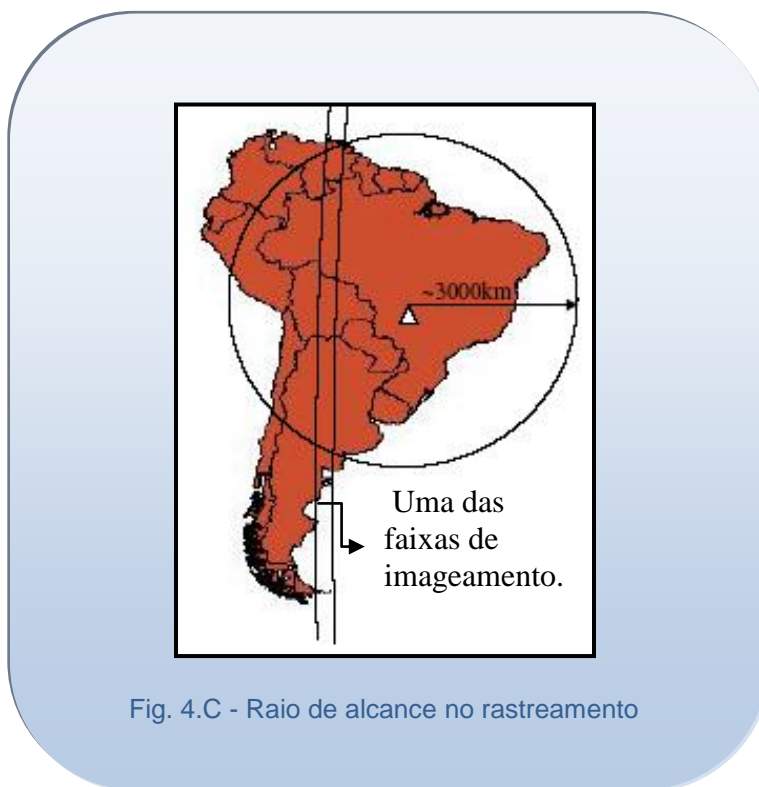
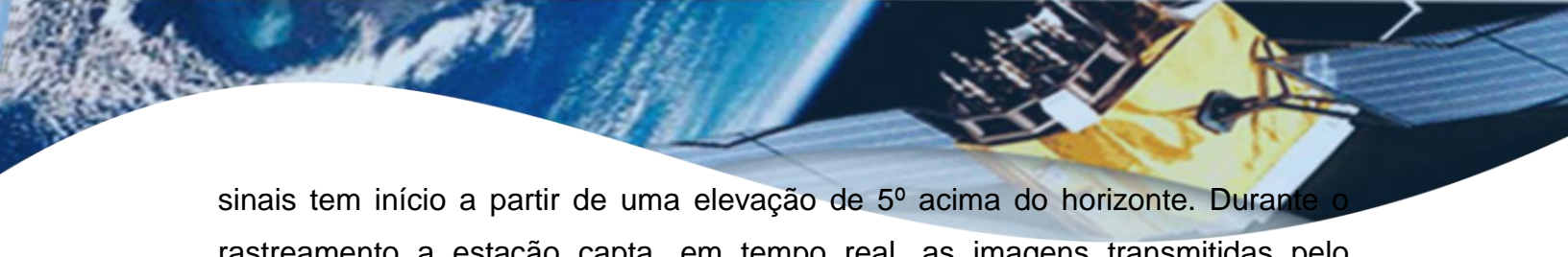


Fig. 4.C - Raio de alcance no rastreamento

Estas estações são constituídas, basicamente, de um bom computador, com software específico, uma antena parabólica direcionável, cabos de conexão da antena ao computador e mesa de controle e operação. O sistema da estação dispõe, de forma antecipada, das informações de horário e posição de órbita. Com base nestas informações a estação posiciona previamente a parabólica para o ponto no horizonte onde o satélite surgirá. Feita a comunicação o sistema ajusta o sincronismo do movimento e rastreia o satélite de horizonte a horizonte. Este percurso é realizado em períodos de aproximadamente 10 a 15 minutos, para os satélites com tempo de órbita em torno de 100 minutos. A melhor recepção dos



sinais tem início a partir de uma elevação de 5° acima do horizonte. Durante o rastreamento a estação capta, em tempo real, as imagens transmitidas pelo satélite e as armazena no computador.

As imagens são grandes arquivos digitais, por isto os dispositivos de armazenamento devem ter grandes capacidades. Os satélites quase sempre têm, a bordo, dispositivos de armazenamento temporário de imagens, que são posteriormente transmitidas para estações de recepção específicas. Este recurso possibilita obter imagens de qualquer local do Globo e capturá-las minutos mais tarde em estações de interesse, mesmo que distante das áreas imageadas.

A estação não rastreia apenas satélites que passam sobre a antena. O rastreamento também é realizado lateralmente. O alcance da antena, para visualização do satélite, depende da topografia de onde a estação esteja instalada. Para regiões altas e planas, as estações chegam a alcançar os satélites horizontalmente, em um círculo de aproximadamente 3.500 km a partir da estação, (Fig. 4.C). Obviamente, rastreios laterais têm tempo de duração menor, conseqüentemente menores áreas de imageamento são cobertas nestas passagens dos satélites.

2.5. SENSORES


2.5.1 SENSORES PASSIVOS E ATIVOS

Os sensores são as máquinas fotográficas dos satélites (Fig. 5.A). Têm por finalidade captar a REM proveniente da superfície terrestre, e transformar a energia conduzida pela onda, em pulso eletrônico ou valor digital proporcional à intensidade desta energia. Segundo a fonte da energia captada, os sensores são classificados como:

Sensores Passivos: utilizam apenas a energia natural refletida ou emitida a partir da superfície terrestre. A luz solar é a principal fonte de REM dos sensores passivos.

Sensores Ativos: estes sistemas utilizam energia artificial, produzida por fontes instalados nos próprios sensores. Esta energia atinge a superfície terrestre (ou de interesse) onde interagem com os alvos, sendo refletidas de volta aos sensores. Uma vantagem dos sensores ativos, no exemplo dos radares, é que as ondas produzidas por estes radares atravessam as nuvens, podendo ser operados sob qualquer condição atmosférica. Uma desvantagem é que o processo de interação com os alvos não capta, tão detalhadamente quanto os sensores passivos, informações sobre as características físicas e químicas das feições terrestres, quando consideramos a faixa radar.

Os sensores cobrem faixas de imageamento da superfície terrestre, cuja largura depende do ângulo de visada do sensor, (em inglês FOV - Field of View), (Fig. 5.2). O sensor Thematic Mapper (TM) do satélite LANDSAT cobre uma faixa de



185 km, o sensor Charge Copled Device (CCD) do satélite SPOT cobre uma faixa de 60 km, o sensor AVHRR do satélite NOAA cobre uma faixa de 2700 km. Estas faixas são dispostas ao longo da órbita e são varridas, pelo sensor, em linhas transversais ao sentido da órbita. Na varredura das linhas, dois processos são utilizados:

a) Varredura por espelho, que se baseia no princípio da técnica de imageamento de scanners multispectrais lineares. A REM refletida da superfície dos objetos / alvos inside sobre um espelho móvel de face plana, montado com um ângulo de 45° sobre um eixo mecânico que imprime um movimento oscilatório ao espelho, de tal forma que a superfície do terreno é varrida em linhas perpendiculares à direção de deslocamento do satélite, permitindo o imageamento seqüencial de linhas da superfície do terreno. A REM refletida no espelho é direcionada para o interior do sensor onde é processada para dar origem às imagens. Os sensores TM e AVHRR utilizam este processo;

b) Imageamento por matriz de detectores, ao invés do espelho, uma matriz de detectores cobre toda a largura da faixa de imageamento. Os detectores são dispostos em linhas que formam a matriz. O sensor CCD utiliza este processo. Em ambos processos a REM é decomposta em faixas denominadas *bandas espectrais* e as linhas são fracionadas em pequenas parcelas quadradas da superfície terrestre, denominadas *pixel*.

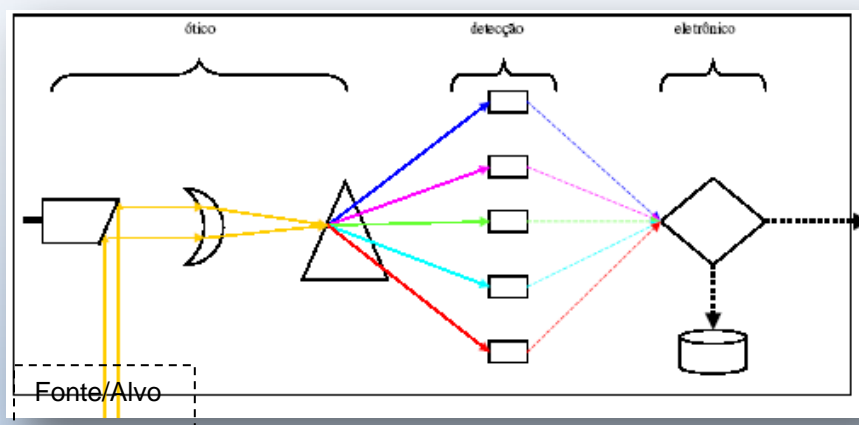


Fig. 5.A. - Sistema sensor

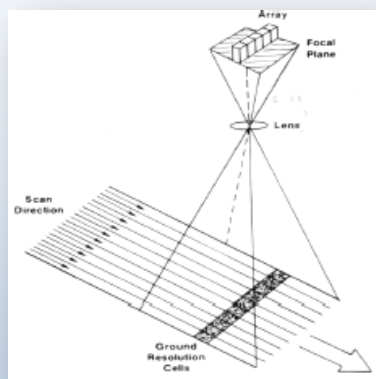
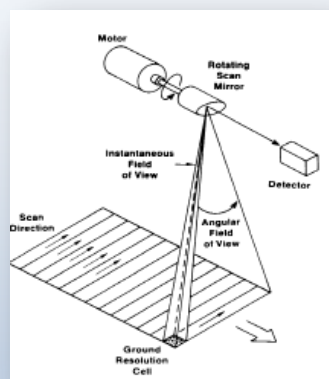


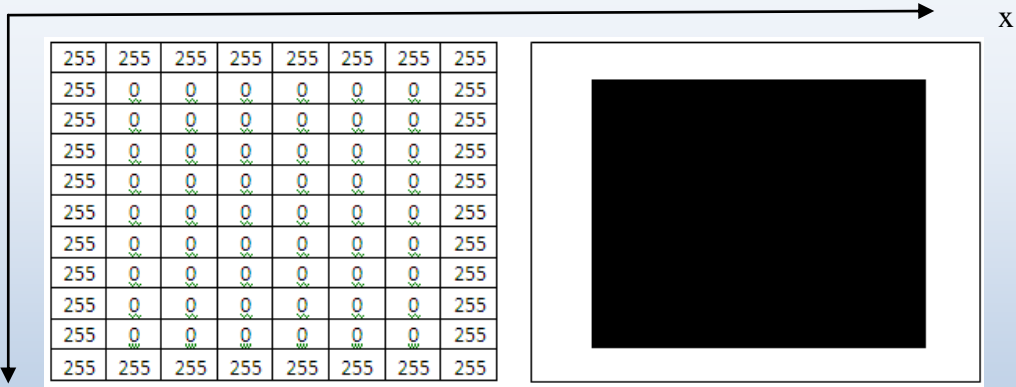
Fig. 5.B - Processos de varredura e detecção

2.6. IMAGEM DIGITAL

2.6.1. FORMA DE ARMAZENAMENTO

Toda imagem captada pelo sensor, em formato digital, é armazenada em arquivos de computador como qualquer outro arquivo de dados. Frequentemente existem dois arquivos para cada imagem de SR, um deles, normalmente de pequena dimensão, destina-se às informações de cabeçalho da imagem (identificação do satélite, do sensor, data e hora, tamanho do pixel, etc.), também chamado de *header* da imagem, e outro que contém os valores numéricos correspondentes aos pixels da imagem. A este último damos a denominação de imagem digital (Fig. 6.A). Cada registro deste arquivo corresponde a uma linha da superfície terrestre. Os campos destes registros são todos do mesmo tamanho e correspondem aos pixels. O valor armazenado em cada campo é proporcional à intensidade da REM, proveniente da parcela da superfície terrestre.

Um aspecto que deve também ser observado é a dimensão do espaço, normalmente em disco de computador, ocupado por uma imagem. Este espaço tem relação direta com a quantidade de pixel e a quantidade de bandas espectrais das imagens. Por esta razão imagens com pixels de menor dimensão cobrem conseqüentemente faixas de imageamento mais estreitas, caso contrário, as linhas teriam uma grande quantidade de pixels e conseqüentemente a imagem poderia ter uma dimensão exageradamente grande. Uma imagem LANDSAT, por exemplo, cobre uma área de 180 km X 180 km, como a dimensão do pixel deste satélite é de 30 m, a imagem tem 6000 linhas com 6000 pixels em cada linha. Como a imagem LANDSAT tem 7 bandas espectrais, o espaço total ocupado por uma imagem Landsat é, portanto, $(6000 \times 6000 \times 7) = 252$ Megabytes.



y Imagem representada matematicamente e visualmente. x



Imagem LandSat TM – 2006 / Ilha dos Marinheiros

2.6.2. RESOLUÇÃO ESPACIAL

Cada sistema sensor tem uma capacidade de definição do tamanho do pixel, que corresponde a menor parcela imageada (Fig. 6.2). O pixel é indivisível. É impossível identificar qualquer alvo dentro de um pixel, pois seu valor integra todo o feixe de luz proveniente da área do solo correspondente ao mesmo. A dimensão do pixel é denominada de resolução espacial. As imagens LANDSAT têm resolução espacial de 30 m, a resolução espacial do SPOT é de 20 m e a do NOAA é de 1100 m. Quanto menor a dimensão do pixel, maior é a resolução espacial da imagem. Imagens de maior resolução espacial têm melhor poder de definição dos alvos terrestres.

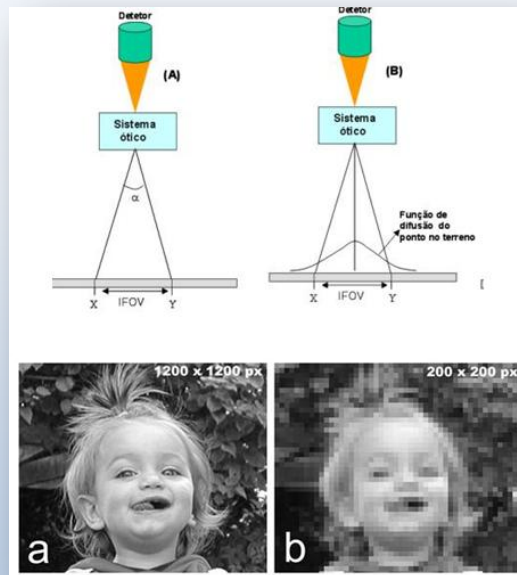
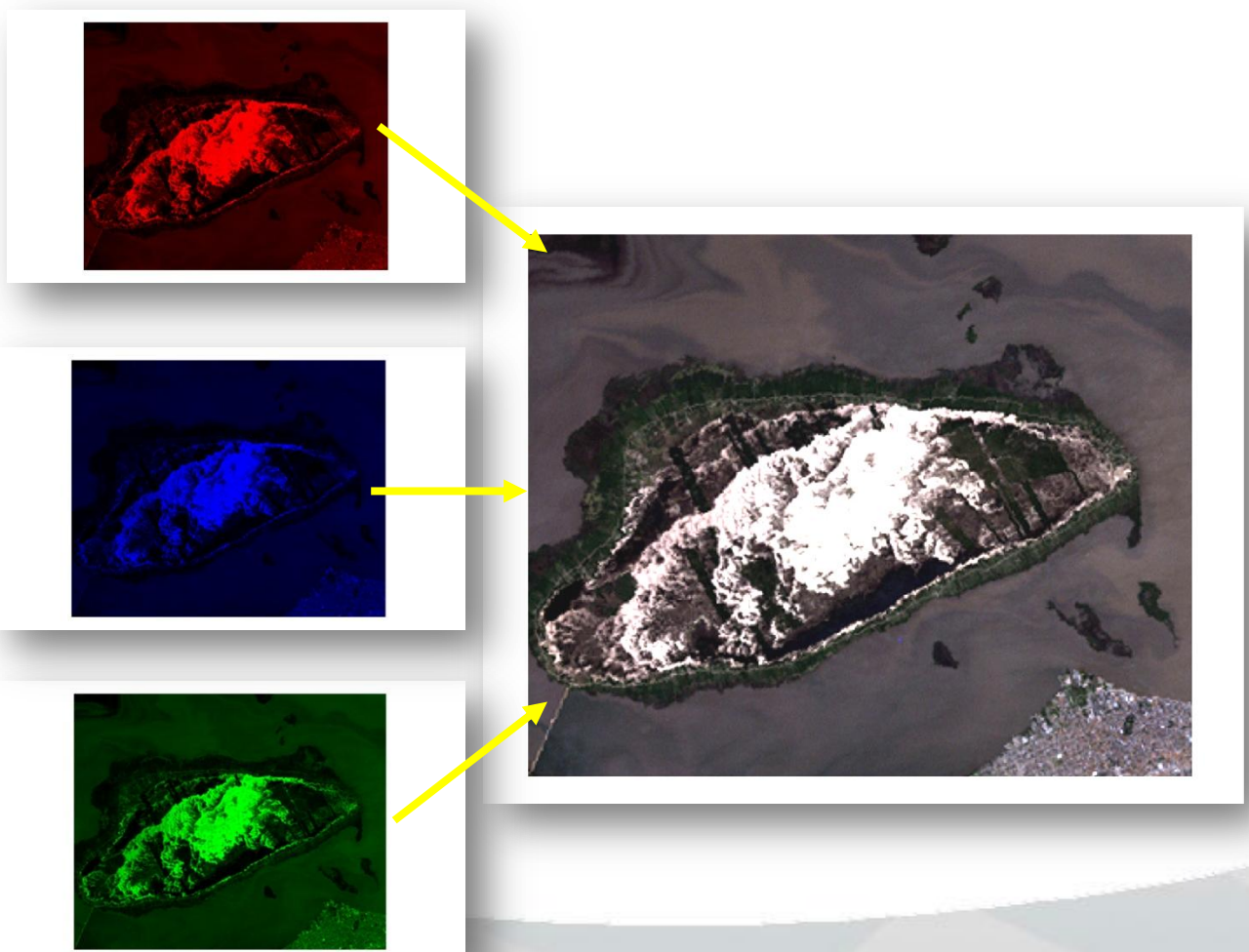


Fig. 6.A – Pixel: Elementos fundamentais da imagem digital.

OBS.: Quanto maior a resolução do sistema sensor, menor é o tamanho mínimo dos elementos que podem ser detectados individualmente (maior o detalhamento).

2.6.3. RESOLUÇÃO ESPECTRAL

Como mencionado anteriormente, a REM é decomposta, pelos sensores, em faixas espectrais de larguras variáveis. Estas faixas são denominadas bandas espectrais (Fig. 6.3). Quanto mais estreitas forem estas faixas espectrais, e/ou quanto maior for o número de bandas espectrais captadas pelo sensor, maior é a resolução espectral da imagem. Imagens Landsat / TM, por exemplo, têm 7 bandas: 0,45 μm a 0,52 μm , 0,52 μm a 0,60 μm , 0,63 μm a 0,69 μm , 0,76 μm a 0,90 μm , 1,55 μm a 1,75 μm , 2,08 μm a 2,35 μm , 10,4 μm a 12,5 μm . Existem sensores que geram imagens com centenas de bandas espectrais.



2.6.4. RESOLUÇÃO RADIOMÉTRICA

A *resolução radiométrica* está relacionada a faixa de valores numéricos associados aos pixels. Este valor numérico representa a intensidade da radiação proveniente da área do terreno correspondente ao pixel e é chamado de *nível de cinza*. A faixa de valores depende da quantidade de bits utilizada para cada pixel. A quantidade de níveis de cinza é igual ao número de bits de representação desta imagem (dois elevado a quantidade de bits devido a representação binária). Para ilustrar, na figura abaixo os retângulos brancos simbolizam bits desligados e os pretos bits ligados. Todos os bits desligados correspondem ao valor 0, somente o primeiro bit ligado corresponde ao valor 1, o segundo ligado e os demais desligados correspondem ao valor 2 e assim sucessivamente até todos os 8 bits ligados que correspondem ao valor 255. Pode-se observar que 2 bits, por exemplo, possibilitam 4 combinações possíveis: os dois desligados; o primeiro ligado e o segundo desligado; o primeiro desligado e o segundo ligado; ambos ligados.

As imagens LANDSAT e SPOT utilizam 8 bits para cada pixel, portanto, o máximo valor numérico de um pixel destas imagens é 255, são todas as combinações possíveis de bits ligados e desligados. Desta maneira, a intensidade da REM é quantificada, na imagem LANDSAT, em valores entre 0 e 255. As imagens NOAA utilizam 10 bits, portanto, o valor máximo do nível de cinza de um pixel NOAA é 1023. Estas têm, portanto, resolução radiométrica maior que as imagens do LANDSAT e do SPOT cuja faixa varia de 0 e 255.



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

□ ⇔ □ ■ ⇔ 0, 1 (2 níveis de cinza)

□□ ⇔ □□ ■□ □■ ■■ ⇔ 0, 1, 2, 3 (4 níveis de cinza)

□□□□□□□□ ⇔ 0 a 255 (256 níveis de cinza)



OBS.:

- a) O número de níveis de cinza é comumente expresso em função do número de dígitos binários (bits) necessários para armazenar, em forma digital, o valor do nível máximo.

- b) O valor em bits é sempre uma potência de 2. Assim, 5 bits significam 2 elevado na potência 5 = 32 níveis de cinza.

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

2.6.5. RESOLUÇÃO TEMPORAL


A resolução temporal de um sistema se refere ao mínimo intervalo de tempo entre a aquisição de dois conjuntos de dados (ou duas imagens consecutivas) de uma mesma área. Quanto maior for o intervalo de tempo, menor é a resolução temporal.

Está relacionada ao período de tempo em que o satélite volta a visitar uma mesma área, por exemplo. O satélite SPOT tem resolução temporal de 26 dias, enquanto o LANDSAT esta resolução é de 16 dias. Isto significa que o SPOT necessita de 26 dias de órbita para reocupar uma mesma posição enquanto o Lansat demanda de 16 dias para estar novamente sobre um mesmo local.

As passagens em dias sucessivos não são coincidentes, assim, o satélite passa a imagear outras faixas, e só voltam a visitar uma mesma área após um certo período de tempo, chamado de resolução temporal.

Esta Resolução temporal é variável. O LANDSAT demora 16 dias para voltar a uma mesma faixa, o SPOT demora 26 dias, o NOAA cobre uma mesma faixa quase todos os dias, devido a sua larga faixa de imageamento.

Com períodos orbitais de aproximadamente 100 a 103 minutos, no caso do LANDSAT, do SPOT e do NOAA, os satélites realizam 14 voltas inteiras mais uma fração de volta, em torno da Terra, em um período de 24 horas. Isto significa que na órbita de número 15, o satélite passa um pouco depois da primeira órbita do dia anterior. Esta defasagem das órbitas faz com que o satélite capte imagem de todo o globo terrestre.



A satellite in orbit above Earth, with solar panels and instruments visible.


2.6.6. ONDE TER ACESSO A IMAGENS DE SATÉLITE: PROCEDIMENTOS PARA AQUISIÇÃO.

Uma dúvida comum, para a comunidade de usuários, tem sido de como proceder para obter uma imagem de satélite. O primeiro passo consiste em identificar as instituições que comercializam ou distribuem imagens. No Brasil o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), são distribuidores das imagens LANDSAT, SPOT e CBERS. O INPE possui uma estação de recepção destas imagens em Cuiabá-MT. As instituições proprietárias dos satélites LANDSAT e SPOT cobram para disponibilizar as imagens nas estações, por isto o custo das mesmas é relativamente alto, em torno de 400 dólares por imagem completa, gravada em CD. Algumas empresas privadas também comercializam estas e outras imagens, como por exemplo, as imagens Ikonos. As imagens NOAA têm custo menor porque a instituição proprietária do satélite não cobra para disponibilizar as imagens nas estações receptoras. Várias instituições públicas e privadas recebem as imagens NOAA: o INPE, o INMET, a FUNCEME, a UFRGS, etc. A Internet é um excelente meio de busca de fornecedores de imagens.

O passo seguinte é definir a área de interesse. Por exemplo, qual o município de interesse e, até mesmo qual parte do município, caso este seja de grande dimensão territorial. Se possível determinar as coordenadas geográficas da área. O GPS pode ajudar nesta tarefa definindo uma coordenada central ou um polígono envolvente da área. Dependendo da localização e dimensão da área uma imagem pode ser suficiente, contudo, existem casos mesmo de pequenas áreas onde há necessidade de se adquirir várias imagens, como na situação em que a área esteja localizada nos cantos das imagens. Definida a área é possível identificar a(s) imagem(ns) a ser(em) adquirida(s), o

LANDSAT e o SPOT têm um sistema de identificação das imagens composto de 2 números, o primeiro é o número da órbita e o segundo é o número da imagem dentro da órbita, também chamado de ponto.

A identificação das imagens pode ser obtida no mapa denominado Sistema de Referência Universal, fornecido pelo INPE. Por exemplo, a imagem LANDSAT que cobre o DF é a 221/71. A imagem pode ser adquirida inteira ou parcialmente (Fig. 6.6). No caso do Landsat, a menor fração da imagem é um sub-quadrante de 45 km X 45 km, estes sub-quadrantes são identificados pelos números de 1 a 16. Pode-se adquirir também quadrantes de 90 km X 90 km, que são identificados pelas letras A, B, C, D, E, S, W, N e X. Porém o custo de um quadrante ou subquadrante não é muito diferente do de uma imagem inteira, portanto, quase sempre vale a pena adquirir a cena completa. Cada imagem Landsat e Spot têm uma posição fixa, porém elas podem ser adquiridas com deslocamento ao longo da órbita. O tempo de entrega das imagens aos usuários tem sido longo. É comum esperar de 20 a 30 dias, pelo recebimento de imagens adquiridas no Brasil.

A satellite view of Earth showing the curvature of the planet and the atmosphere.

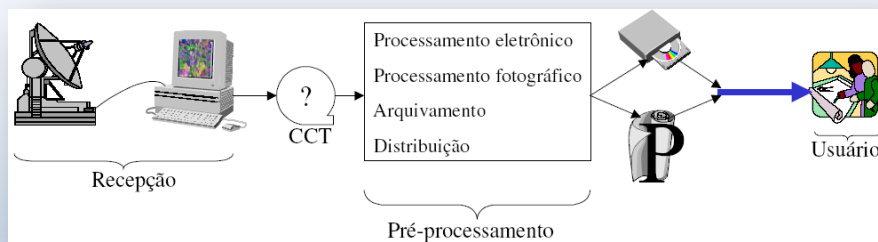


Fig. 6.E - Caminho recepção usuário

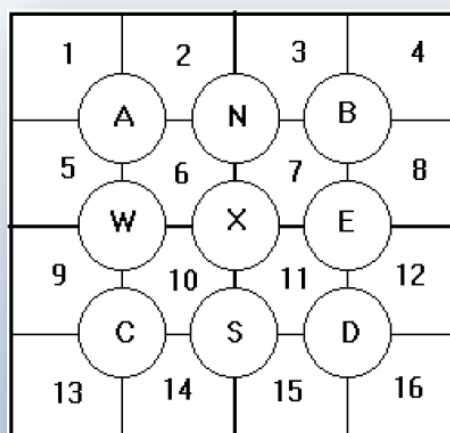



Fig. 6.F - Quadrantes e sub-quadrantes de uma imagem Landsat

2.7. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

O grande volume de dados, intrínseco às imagens de satélite, associado à relativa complexidade de cálculos, requer expressivos recursos computacionais para o armazenamento e tratamento das informações do SR. A evolução da informática, tanto em equipamentos como em softwares, tem propiciado estes recursos. São dispositivos que suportam maciços volumes de dados, como os discos rígidos com muitos gigas e até terabytes, fitas magnéticas CD ROM, etc. Monitores de alta resolução, para análise e visualização de imagens em alta definição. Eficientes dispositivos de entrada, como scanners e os leitores de fita e CD. Excelentes dispositivos de saída, como impressoras, traçadores gráficos (plotters) e unidades de gravação de fita e de CD. As capacidades de memória é outro importante item no tratamento digital de imagens, pois, este recurso agiliza substancialmente o processamento, reduzindo o tempo de espera pelo fotointérprete. Os sistemas de processamento digital de imagens tem sido o segmento onde se tem investido grandes recursos técnicos e humanos, e por isto, a evolução deste segmento tem respondido de modo eficiente, às demandas do SR. Dentre os sistemas de processamento digital de imagens disponíveis podemos citar: SPRING, ENVI, IDRISI, PCI, ER-MAPER, ERDAS, entre outros. Na verdade o processo evolutivo é uma corrida sem fim. Continuamente o SR vem disponibilizando imagens com



maiores volumes e complexidade de interpretação, exigindo contínua evolução dos recursos computacionais.


De qualquer forma, é sempre conveniente investir em eficientes recursos computacionais, para tratamento das informações do SR, pois sempre se ganha em qualidade e em produtividade, reduzindo substancialmente as despesas com recursos humanos, na análise e interpretação de imagens, que normalmente é sempre o mais caro.

Uma imagem digital como já vimos, pode ser definida como sendo um conjunto de pontos, onde cada ponto (pixel) corresponde a uma unidade de informação do terreno, formada através de uma função bidimensional $f(x,y)$, onde x e y são coordenadas espaciais e o valor de f no ponto (x,y) representa o brilho ou radiância da área correspondente ao pixel, no terreno. Tanto x e y (linha e coluna) quanto f só assumem valores inteiros, portanto, a imagem pode ser expressa numa forma matricial, onde a linha i e coluna j correspondem às coordenadas espaciais x e y , e o valor digital no ponto correspondente a f , é o nível de cinza do pixel daquele ponto.

Como visto anteriormente, em imagens digitais, quanto maior o intervalo de possíveis valores do pixel, maior a sua resolução radiométrica; e quanto maior o número de elementos da matriz por unidade de área do terreno, maior a sua resolução espacial. Os níveis de cinza podem ser analisados através de um *histograma*, que representa a freqüência numérica ou porcentagem de ocorrência e fornecem informações referentes ao contraste e nível médio de cinza, não fornecendo, entretanto, nenhuma informação sobre a distribuição espacial. A média dos níveis de cinza corresponde ao brilho da imagem, enquanto que a variância refere-se ao contraste. Quanto maior a variância, maior será o contraste da imagem.

2.7.1. PRÉ-PROCESSAMENTO

As imagens na forma em que são recebidas originalmente dos satélites, (também chamadas de imagens brutas), apresentam degradações radiométricas devidas a desajustes na calibração dos detectores, erros esporádicos na transmissão dos dados, influências atmosféricas, e distorções geométricas. Todas estas imperfeições, se não corrigidas, podem comprometer os resultados e produtos derivados das imagens. O pré-processamento, que é a etapa preliminar do tratamento digital de imagens, tem esta finalidade. Normalmente o fornecedor das imagens, (INPE e empresas), se encarrega de proceder esta tarefa, antes de entregar as imagens para o usuário. Três tipos principais de pré-processamento, são utilizados.



2.7.1.1. CORREÇÃO RADIOMÉTRICA

Este tratamento destina-se, a pelo menos reduzir as degradações radiométricas decorrentes dos desajustes na calibração dos detectores e erros esporádicos na transmissão dos dados. As principais correções radiométricas são o “stripping” aplicado ao longo das linhas com base em padrão sucessivo, que aparecem na imagem, em decorrência, da diferença ou desajuste de calibração dos detectores, e o “dropped lines”, aplicado entre linhas com base em padrão anômalo na imagem, que ocorre pela perda de informações na gravação ou na transmissão dos dados.

2.7.1.2. CORREÇÃO ATMOSFÉRICA

A interferência atmosférica é um dos principais fatores de degradação nas imagens, muitas vezes comprometendo a análise e interpretação das mesmas (Fig. 7.A). A intensidade deste efeito depende do comprimento de onda, portanto, ele afeta de modo diferente a cada uma das bandas espectrais.

A correção da imagem pode ser feita por meio de modelos matemáticos baseados em parâmetros atmosféricos que normalmente são desconhecidos, dificultando a aplicação dos modelos. Estes parâmetros devem ser obtidos na hora e data de passagem do satélite, por meio de estações meteorológicas e isto é um procedimento difícil.

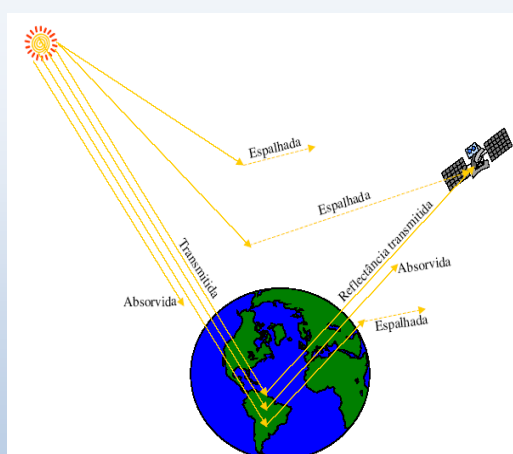


Fig. 7.A - Interferência atmosférica

Na prática utiliza-se técnicas mais simples, que produzem resultados satisfatórios. A técnica do *mínimo histograma* é uma delas, e baseia-se no fato de que, sombras de nuvens densas e de relevo e corpos d'água limpa, por hipótese, deveriam ter radiância nula, conseqüentemente níveis de cinza zero (Fig. 7.B). Portanto, valores de níveis de cinza não nulos, encontrados nestas áreas são considerados provenientes de efeito aditivo do espalhamento atmosférico. A técnica consiste em

subtrair de cada pixel de cada banda espectral de toda a imagem, o menor valor medido nestas áreas.

Um outro método alternativo de correção atmosférica é o da regressão de bandas. Este método assume que entre duas bandas altamente correlacionadas, a equação da reta de melhor ajuste deveria passar pela origem dos eixos, caso não houvesse efeito aditivo da atmosfera. Porém, devido a este efeito, a reta corta o eixo y em algum ponto maior que zero. O valor da ordenada do ponto de interceptação representa o valor adicionado devido a efeitos atmosféricos naquela banda. Este valor, que é a constante da equação da reta, é subtraído da banda considerada.

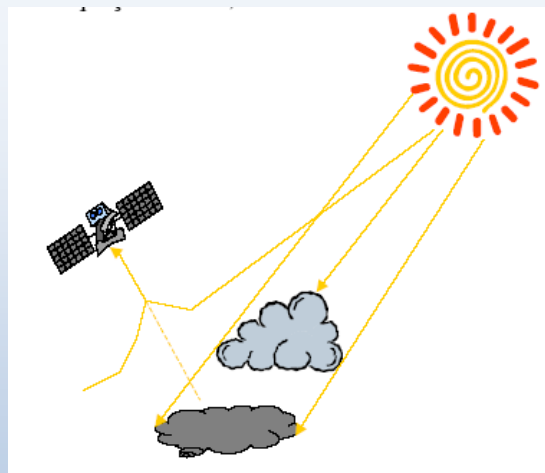


Fig. 7.B - Efeito de sombras

2.7.1.3. CORREÇÃO GEOMÉTRICA

Outro tipo de distorção das imagens brutas são as chamadas distorções geométricas, que diminuem a precisão espacial das informações. Várias aplicações como a cartografia, a confecção de mosaicos, sistemas de informações geográficas, a detecção e acompanhamento de mudanças espaciais em feições terrestres, necessitam de dados com boa precisão espacial, exigindo a correção de tais distorções.

Uma das causas das distorções geométricas são as oscilações do satélite em torno de eixos definidos por um sistema cartesiano posicionado no mesmo, (eixos x, y, z). As oscilações em torno destes 3 eixos provocam desalinhamentos no processo de varredura da superfície terrestre, feita pelo sensor (Fig. 7.C). Estas oscilações são identificadas por:

- a) "row", que afetam a varredura no sentido longitudinal;
- b) "pitch", que provocam distorções transversais no processo de varredura;

c) "yaw" que provocam distorções semelhantes a um leque na disposição das linhas na imagem.

Outros fatores provocam distorções geométricas nas imagens. A variação da altitude do satélite afeta a escala da imagem. A variação da velocidade do satélite provoca uma superposição ou afastamento de varreduras consecutivas. O movimento de rotação da Terra provoca deslocamentos laterais gradual das linhas ao longo da imagem. Imperfeições do mecanismo de varredura do sensor, também provocam distorções geométricas. Os pixels das bordas laterais da imagem têm dimensões maiores que os pixels situados sob a órbita, isto decorre do fato de que o ângulo instantâneo de visada, que é o ângulo correspondente a um pixel, (IFOV em inglês), é constante ao longo da varredura da linha, conseqüentemente, este ângulo cobre uma área maior nas laterais do que sob o satélite. Estas distorções podem ser corrigidas, pelo menos parcialmente, por meio de modelos matemáticos que descrevem as distorções existentes. Após a aquisição dos coeficientes deste modelo, uma função de mapeamento é criada para a construção da nova imagem corrigida. Um modelo freqüentemente utilizado é o polinomial, cujos coeficientes são estimados a partir de pontos de controle identificáveis na imagem, e com localização geodésica precisamente conhecida.

Cruzamento de estradas, pontes, feições geológicas podem ser tomados como pontos de controle. Os pontos de controle devem ser igualmente distribuídos em toda a imagem, caso contrário as regiões com poucos ou nenhum ponto podem sofrer mais distorções ainda. É importante também que os pontos sejam posicionados com precisão, sobre a imagem. Um método alternativo de correção geométrica baseia-se nos dados de atitude do satélite (posição, velocidade, altitude, dados orbitais, etc.). Este método é menos trabalhoso, mas menos preciso, podendo, portanto, ser utilizado como uma aproximação preliminar do processo de correção geométrica.

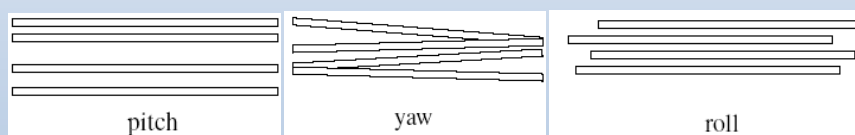
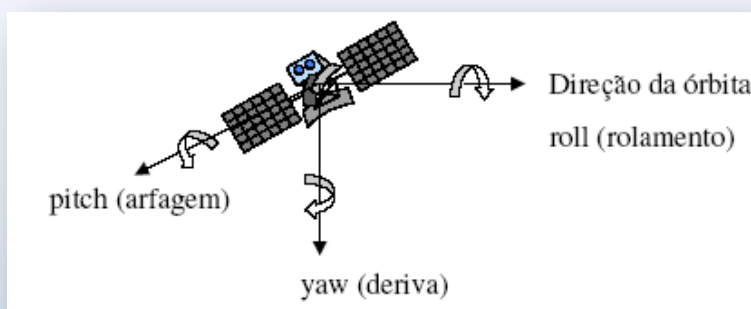


Fig. 7.C - Oscilações dos satélites



2.7.2. CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS

Classificação, em sensoriamento remoto, significa a associação de pontos de uma imagem a uma classe ou grupo de classes. Estas classes representam as feições e alvos terrestres tais como: água, lavouras, área urbana, reflorestamento, cerrado, etc. A classificação de imagens é um processo de reconhecimento de classes ou grupos cujos membros exibem características comuns. Uma classe poderia ser, por exemplo, soja, um grupo de classes poderia ser áreas cultivadas.

Ao se classificar uma imagem, assume-se que objetos/alvos diferentes apresentam propriedades espectrais diferentes e que cada ponto pertence a uma única classe. Além disso, os pontos representativos de uma certa classe devem possuir padrões próximos de tonalidade, de cor e de textura. A classificação pode ser dividida em supervisionada e não supervisionada. A supervisionada é utilizada quando se tem algum conhecimento prévio sobre as classes na imagem, de modo a permitir, ao analista, definir sobre a mesma, áreas amostrais das classes. Estas áreas amostrais são utilizadas pelos algoritmos de classificação para identificar na imagem os pontos representativos das classes. A fase preliminar onde o analista define as áreas amostrais é denominada de treinamento.

Dois algoritmos de classificação supervisionada bastante utilizados são o *single-cell* e o *maxver*. A classificação não supervisionada é útil quando não se tem informações relativas às classes de interesse na área imageada. As classes são definidas automaticamente pelo próprio algoritmo da classificação.

A classificação também pode ser subdividida em determinística e estatística. Na classificação determinística (ou geométrica), pressupõe-se que os níveis de cinza de uma imagem podem ser descritos por funções que assumem valores definidos de acordo com a classe.

Na classificação estatística, assume-se que os níveis de cinza são variáveis aleatórias z . A variável aleatória z é uma função densidade de probabilidade $p(z)$, definida de tal maneira que a sua variável aleatória z esteja no intervalo (a,b) .

Os algoritmos mais utilizados neste tipo de classificação são o *maxver* e o *k-média*. A classificação *single-cell*, apenas para ilustrar, utiliza um algoritmo que determina um intervalo de valores de níveis de cinza para cada classe e para cada banda, através da utilização da área de treinamento. Esse método de classificação é simples e de rápido processamento computacional, entretanto, apresenta os seguintes problemas: aproximação grosseira da assinatura espectral real dos alvos; superposição de classes dificultando a separação destas, além do fato de que as classes, na realidade, não se enquadram em padrões geométricos perfeitos, levando a erros por excesso e/ou por falta. Por excesso quando pontos de uma certa classe que na realidade não pertencem a elas podem ser classificados como tal, por falta quando pontos de uma classe deixam de ser classificados com tal.

2.7.3. REALCE DE IMAGENS

Esta técnica modifica, através de funções matemáticas, os níveis de cinza ou os valores digitais de uma imagem, de modo a destacar certas informações espectrais e melhorar a qualidade visual da imagem, facilitando a análise do fotointérprete. Serão apresentadas as técnicas denominadas *ampliação de contraste* e *composição colorida*.

2.7.3.1. AMPLIAÇÃO DE CONTRASTE

Esta técnica considera que geralmente os níveis de cinza de uma cena, obtidos por um sistema sensor qualquer, não ocupam todo o intervalo de valores possíveis. Através de uma transformação matemática, o intervalo original é ampliado para toda a escala de níveis de cinza ou números digitais disponíveis.

Por exemplo, uma imagem LANDSAT na qual os níveis de cinza estejam variando de 50 a 150, pode ter sua faixa de níveis de cinza ampliada para ocupar toda a faixa de valores possíveis que é de 0 a 255 (Fig. 7.D).

Embora a transformação mais comum seja a linear, pode-se implementar qualquer outro tipo de transformação, dependendo do histograma original e do alvo ou feição de interesse, tais como: logarítmica, exponencial, raiz quadrada, etc.

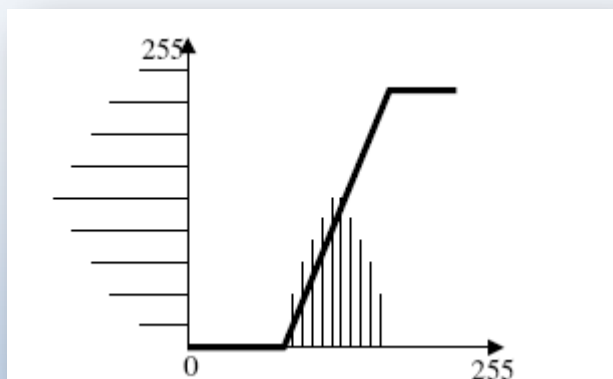


Fig. 7.D - Ampliação de contraste (à esquerda sem e à direita com contraste)



A – sem contraste;



B – com contraste.




2.7.3.2. COMPOSIÇÃO COLORIDA

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 discriminar 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) (Fig. 7.E).

A formação das cores na imagem pode ser considerada similar ao trabalho de um pintor que tenha a 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 deve se utilizar o máximo de tinta da correspondente cor. 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.

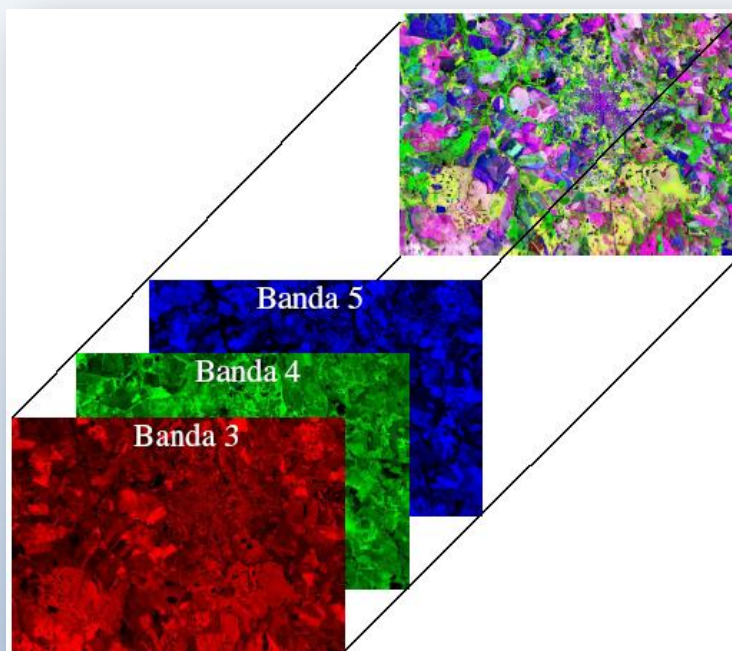


Fig. 7.E - Composição colorida


2.8. APLICAÇÕES

Em estudos para fins de levantamentos, monitoramento ou mapeamento, com uso de imagens de satélites, algumas etapas devem ser seguidas, entre elas: definição dos objetivos e da área de estudo, revisão bibliográfica, coleta de dados, escolha das bandas espectrais, (veja tabela), definição da escala, aquisição de imagens e de outros produtos necessários, processamento (no caso de produtos digitais), análise e interpretação visual preliminar, trabalho de campo, processamento, análise e interpretação visual final, elaboração e impressão de mapas e relatório.

O SR possibilita aplicações em inúmeras áreas: agricultura, meio ambiente, geologia, recursos hídricos, estudo de solos, florestas, etc. A título de ilustração, a seguir é apresentado um exemplo de aplicação na agricultura.

Várias aplicações do SR podem ser utilizadas no campo da Agricultura: previsão de safras, mapeamento de culturas, definição de áreas de aptidão agrícola, zoneamento agro-ecológico, monitoramento de incêndios em lavouras e pastagens, etc. Na previsão de safras, por exemplo, o SR pode ser utilizado em dois segmentos: no dimensionamento das áreas de plantio e na estimativa do rendimento.

No cálculo da área de plantio é necessário proceder a identificação e mapeamento das lavouras de interesse, isto exige normalmente registro das imagens ou fotos



aéreas, de modo a georeferenciá-las. Este georeferenciamento permite localizar e mapear lavouras, seja dentro de propriedades ou dentro de municípios de interesse. Este georeferenciamento é necessário no sentido de se evitar erros tais como adicionar a um município áreas pertencentes aos outros, ou deixar de computar em um município áreas cultivadas no mesmo. Outro tratamento necessário no cálculo das áreas de plantio é a classificação, necessária para a identificação e mapeamento das culturas.

O período das imagens deve ser definido em função das condições fenológicas das culturas, das condições de iluminação e em especial, das condições meteorológicas. A cobertura de nuvens tem inviabilizado o uso de imagens de satélites para mapeamento de lavouras no Centro-Oeste brasileiro. Nos meses de janeiro, fevereiro e março, período ideal para o mapeamento, dificilmente encontra-se imagens sem cobertura de nuvens dessa região.

Entre as informações do SR, que podem ser utilizadas para a estimativa do rendimento, destaca-se o índice de vegetação (IV) (Fig. 8.A).

Este índice baseia-se no comportamento espectral da vegetação. Em geral toda vegetação, em bom desenvolvimento vegetativo, absorve significativamente a radiação na faixa do visível, como energia para o processo da fotossíntese. Por outro lado, esta mesma vegetação reflete fortemente a radiação do infravermelho. A intensidade da absorção do visível e da reflectância do infravermelho é mais acentuada quanto melhor estiver o desenvolvimento da planta. Devido a forte absorção, a radiância correspondente à faixa do visível chega enfraquecida no satélite, enquanto a correspondente ao infravermelho, fortemente refletida pela vegetação, chega com forte intensidade. Esta diferença de intensidades é captada pelo sistema sensor e registrada na imagem digital. Em computador, por meio de operações aritméticas simples, utilizando os níveis de cinza dos pixels, obtém-se um valor numérico, chamado de índice de vegetação. O IV, portanto reflete o estado de desenvolvimento da cultura e, conseqüentemente reflete a expectativa de rendimento da mesma. O IV é recomendado somente para lavouras mais extensas, pois em lavouras de menor dimensão, pode ocorrer a mistura de várias culturas em um único pixel, o que dificulta e até mesmo inviabiliza seu uso. A estimativa da produtividade agrícola necessita de acompanhamentos freqüentes, portanto, no caso de se utilizar imagens de satélite para esta finalidade, estas devem ser de alta resolução temporal.

Por esta razão é que se tem verificado inúmeros testes utilizando imagens dos satélites NOAA, cuja freqüência de imageamento é praticamente diária.

BANDA	FAIXA ESPECTRAL μm	PRINCIPAIS APLICAÇÕES
1	0,45 – 0,52	- Mapeamento de águas costeiras - Diferenciação entre solo e vegetação - Diferenciação entre vegetações coníferas e decídua
2	0,52 – 0,60	- Reflectância da vegetação verde sadia
3	0,63 – 0,69	- Absorção da clorofila - Diferenciação de espécies vegetais
4	0,76 – 0,90	- Levantamento de biomassa - Delineamento de corpos d'água
5	1,55 – 1,75	- Medidas de umidade da vegetação - Diferenciação entre nuvens e neve
6	10,4 – 12,5	- Mapeamento de estresse térmico em plantas - Outros mapeamentos térmicos
7	2,08 – 2,35	- Mapeamento hidrotermal -

Tabela 8.1 - Bandas Espectrais do Sensor TM e suas aplicações

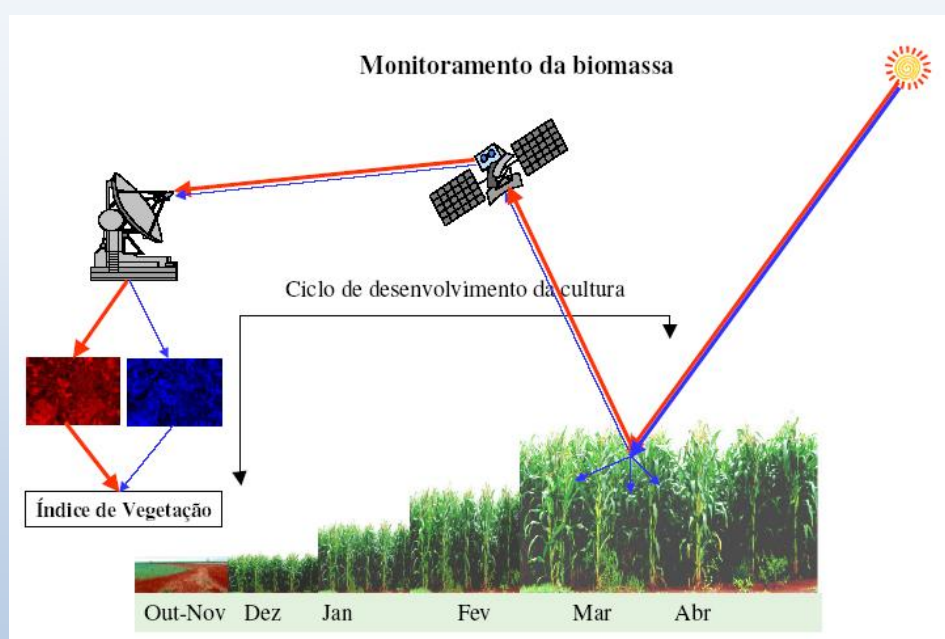


Fig. 8.A - Índice de vegetação



BIBLIOGRAFIA

American Society of Photogrammetry - *Manual of Remote Sensing* - Falls Church
– 1983

Câmara G., Davis C., Monteiro A.M.V., D'Alge J.C.L., Felgueiras C., Freitas C.C.,
Fonseca

L.M.G., Fonseca F. *Introdução à Ciência da Geoinformação*, www.dpi.inpe.br

Novo, E. M. L. M, - *Sensoriamento Remoto, Princípios e Aplicações* - Edgard
Blucher, 1998.

Rosa, R. - *Introdução ao Sensoriamento Remoto* - EDUFU- 1995.

Schowengerdt, R. A., - *Remote Sensing - Models and Methods for Image
Processing*, Ed. Academic Press, 1997.

Slater, P. N. - *Remote Sensing: Optics and Optical Systems* - Addison-Wesley,
1980

ALGUNS SITES RELACIONADOS AO SR

<http://www.inpe.br>

<http://www.dpi.inpe.br>

<http://www.agespacial.gov.br/sensoriamento.htm>

<http://www2.ibama.gov.br/>

<http://www.csr.ufmg.br/>

<http://www.img.com.br/imagem/>

<http://www.cnpm.embrapa.br>

<http://www.intersat.com.br>

<http://www.engesat.com.br>

<http://www.threetek.com.br>

<http://terra.nasa.gov>

<http://www.usgs.gov/>

<http://eospsso.gsfc.nasa.gov/>





CRÉDITOS

Material produzido pelo Programa de ensino virtual de uso de geotecnologias para cursos de graduação, vinculado ao Edital 15 CAPES – Fomento ao uso das tecnologias de comunicação e informação nos cursos de graduação.

Prof. Dr. Carlos Roney Armani Tagliani (coordenador do projeto)

Profª Dra. Rosa Maria Picolli da Cunha (professora pesquisadora)

Organizadores:

Allan de Oliveira (colaborador)

Ana Paula Santos Pereira (tutora)

Jean Marcel de Almeida Espinoza (tutor)

Kahuam de Souza Gianuca (tutor)

Equipe de Design e Diagramação – Núcleo Comum/SEaD/FURG

Alexsander Lavoura de Mattos

Caroline Noble de Ávila

Cibele Hechel Colares da Costa

Cibele Dias Borges

Jair Conti Gomes Jr.

Jarbas Gama Macedo

Jeferson Feijó

Luciano da Silva Baldez

Marcelo da Silva Calheiros

Tôni Rabello dos Santos

Rodnei Gallo Flores

