

1. Classificação INPE-COM.2/MD C.D.U.: 528.711.7:371.33	2. Período	4. Distribuição interna <input checked="" type="checkbox"/> externa <input type="checkbox"/>
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) CURSO DE TREINAMENTO SENSORIAMENTO REMOTO		
5. Relatório nº INPE-1869-MD/004	6. Data Agosto, 1980	7. Revisado por <i>Celina Foresti</i> Celina Foresti
8. Título e Sub-Título CURSO DE TREINAMENTO: INTRODUÇÃO ÀS TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E APLICAÇÕES		9. Autorizado por <i>Nelson de Jesus Parada</i> Nelson de Jesus Parada Diretor
10. Setor DSR	Código	11. Nº de cópias 50
12. Autoria <i>Divisão de Transferência de Tecnologia</i> <i>Divisão de Pesquisas e Desenvolvimento de Aplicações</i> <i>Divisão de Aquisição e Tratamento de Dados</i>		14. Nº de páginas 318
13. Assinatura Responsável <i>Leandro Soares</i>		15. Preço
16. Sumário/Notas <i>Este texto corresponde ao material de acompanhamento a ser utilizado no Curso de Treinamento: Introdução às Técnicas de Sensoriamento Remoto e Aplicações. O objetivo deste curso é fornecer a graduados em Ciências exatas e naturais, uma visão integrada e abrangente dos princípios físicos, técnicas de aquisição e metodologias de processamento e interpretação de dados obtidos por sensores remotos, em Geologia, Geografia, Agronomia, Floresta e Oceanografia. O texto apresenta, ainda, vários exemplos de aplicações de técnicas de sensoriamento remoto em diferentes campos de pesquisas.</i>		
17. Observações <i>Material didático sujeito a revisão.</i>		

Este trabalho foi elaborado pelos seguintes autores:

<i>Carlos Alberto Steffen</i> <i>João Antonio Lorenzetti</i> <i>José Luiz Stech</i>	Capítulo I
<i>Carlos Alberto Steffen</i> <i>João Antonio Lorenzetti</i> <i>José Luiz Stech</i>	Capítulo II
<i>Paulo Cesar Gurgel de Albuquerque</i>	Capítulo III
<i>Mário Valério Filho</i>	Capítulo IV
<i>Paulo Veneziani</i>	Capítulo V
<i>Evelyn Moreira Leão de Moraes Novo</i> <i>Hermann Johann Kux</i> <i>Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto</i> <i>Tania Maria Sausen</i>	Capítulo VI
<i>Mário Valério Filho</i>	Capítulo VII
<i>Armando Pacheco dos Santos</i> <i>Madalena Niero</i> <i>Magda Adelaide Lombardo</i>	Capítulo VIII
<i>Renato Herz</i>	Capítulo IX
<i>Fernando H. Fi</i> <i>José Carlos Moreira</i> <i>Luciano Vieira Dutra</i> <i>Ricardo Cartaxo Modesto de Souza</i>	Capítulo X
<i>Celina Foresti</i> <i>Evelyn Moreira Leão de Moraes Novo</i> <i>Madalena Niero</i>	Capítulo XI
<i>Gilberto Amaral</i>	Capítulo XII
<i>Francisco José Mendonça</i> <i>João Roberto dos Santos</i> <i>Liane Antunes Maciel Lucht</i> <i>Pedro Hernandes Filho</i>	Capítulo XIII
<i>Hector Inostroza Villagra</i>	Capítulo XIV

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	<i>xii</i>
LISTA DE TABELAS	<i>xv</i>
<u>CAPÍTULO I - PRINCÍPIOS FÍSICOS DE SENSORIAMENTO REMOTO</u>	I.1
1.1 - Sensoriamento Remoto - Conceito	I.1
1.2 - Elementos da Fase de Aquisição	I.2
1.2.1 - Energia Radiante	I.2
1.2.2 - Fontes	I.14
1.2.3 - Efeitos Atmosféricos	I.18
1.2.4 - Superfícies	I.22
1.2.5 - Sensores	I.28
BIBLIOGRAFIA	I.30
<u>CAPÍTULO II - SENSORES E PRODUTOS</u>	II.1
2.1 - Radiômetros	II.1
2.2 - Sensores Fotográficos	II.4
2.3 - Radiômetro Imageador (Scanner)	II.14
2.4 - Radar	II.16
2.5 - O Sistema LANDSAT	II.19
2.5.1 - Órbita e Cobertura	II.21
2.5.2 - Subsistema Imageador Multiespectral	II.21
2.5.3 - Subsistema RBV	II.25
2.5.4 - Algumas Características do Sistema LANDSAT	II.27
BIBLIOGRAFIA	II.30
<u>CAPÍTULO III - ELEMENTOS DE FOTOGRAMETRIA E CARTOGRAFIA</u>	III.1
3.1 - Elementos de Fotogrametria	III.1
3.1.1 - Visão Binocular	III.1
3.1.2 - Convergência e Paralaxe e Estereoscopia	III.2
3.1.2.1 - Fórmula da Paralaxe	III.5
3.1.2.2 - Relação b/Z	III.8
3.1.3 - Características Geométricas dos Fotogramas	III.8
3.1.3.1 - Deslocamento, Devido ao Relevo	III.10
3.1.3.2 - Deslocamento Devido às Variações de Altura	III.11

3.1.4 - Determinação de Alturas do Objeto em Fotos Verticais Isoladas	III.12
3.2 - Aplicações em Cartografia	III.13
3.2.1 - Cartografia: Definição e Atividades	III.13
3.2.1 - Algumas Definições de Produtos Cartográficos	III.16
3.2.3 - A Cartografia no Sensoriamento Remoto	III.17
BIBLIOGRAFIA	III.19
<u>CAPÍTULO IV . ELEMENTOS DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE SENSORIA</u>	
<u>MENTO REMOTO</u>	IV.1
4.1 - Introdução	IV.2
4.2 - Elementos de Interpretação	IV.2
4.2.1 - Tamanho	IV.2
4.2.2 - Forma	IV.3
4.2.3 - Sombra	IV.3
4.2.4 - Tonalidade e Cor	IV.4
4.2.5 - Padrão	IV.7
4.2.6 - Textura	IV.8
4.2.7 - Localização	IV.10
4.2.8 - Convergência de Evidências	IV.10
4.2.9 - Resolução	IV.11
4.3 - Fases da Interpretação de Imagens Fotográficas	IV.11
4.3.1 - Introdução	IV.11
4.3.2 - Fases da Interpretação	IV.12
BIBLIOGRAFIA	IV.15
<u>CAPÍTULO V - INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO</u>	
<u>EM GEOLOGIA</u>	V.1
5.1 - Introdução	V.1
5.2 - Metodologia	V.1
5.2.1 - Generalidades	V.1
5.2.2 - Produtos de Sensoriamento Remoto de Grande Escala	V.4
5.2.2.1 - Rede de Drenagem	V.4
5.2.2.2 - Formas de Relevo	V.6
5.2.2.3 - Tonalidade e Cor	V.8
5.2.2.4 - Exemplo de Informações que podem ser obtidas através de análise de produtos de sensoriamento remoto em grande escala	V.9

5.2.3 - Relevo	V.12
5.2.3.2 - Rede de Drenagem	V.13
5.2.3.3 - Tonalidades de Cinza e Cores	V.13
5.2.3.4 - Exemplos de Informações que podem ser obtidas através da análise de produtos de sensoriamento remoto de pequena escala	V.14
5.2.4 - Confecção de Mapas Geológicos	V.15
BIBLIOGRAFIA	V.17
 <u>CAPÍTULO VI - INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO EM GEOMORFOLOGIA</u>	
6.1 - Conceito de Geomorfologia	VI.1
6.1.1 - Escalas de Mapeamento Geomorfológico	VI.1
6.2 - Métodos de Interpretação de Dados de Sensoriamento Remoto em Geomorfologia	VI.2
6.3 - Elementos de Interpretação de Dados de Sensoriamento Remoto em Geomorfologia	VI.6
6.3.1 - Sensores Fotográficos	VI.6
6.3.1.1 - Fotografias Aéreas Pancromáticas	VI.6
6.3.1.2 - Fotografias Aéreas Coloridas	VI.8
6.3.1.3 - Fotografias Aéreas Multiespectrais	VI.9
6.3.2 - Sensores Não-Fotográficos	VI.10
6.3.2.1 - Imagens de Radar	VI.10
6.3.2.2 - Imagens de Scanner (Infravermelho Termal).....	VI.11
6.3.2.3 - Imagens de Scanner Multiespectral do Sistema LANDSAT ..	VI.12
BIBLIOGRAFIA	VI.14
 <u>CAPÍTULO VII - INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO EM PEDOLOGIA</u>	
7.1 - Introdução	VII.1
7.2 - Métodos de Interpretação de Imagens Fotográficas aplicados a solos	VII.2
7.3 - Tipos de Levantamento de Solos	VII.4
7.4 - Elementos de Fotointerpretação para Solos	VII.6
7.4.1 - Relevo	VII.6
7.4.2 - Drenagem	VII.7
7.4.3 - Tonalidade	VII.8
7.4.4 - Textura	VII.10

7.4.5 - Uso da Terra	VII.11
7.4.6 - Vegetação Natural	VII.12
7.5 - Análise Conjunta dos Elementos	VII.13
7.6 - Considerações Finais	VII.14
BIBLIOGRAFIA	VII.18
 <u>CAPÍTULO VIII - INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO</u>	
<u>NO USO DA TERRA</u>	VIII.1
8.1 - Introdução	VIII.1
8.2 - Níveis de Classificação	VIII.2
8.2.1 - Escolha de Legenda para o Levantamento do Uso da Terra.	VIII.3
8.3 - Elementos de Interpretação de Dados	VIII.6
8.3.1 - Vegetação/Áreas Agrícolas	VIII.6
8.3.1.1 - Fotografias Aéreas	VIII.6
8.3.1.2 - Radar	VIII.20
8.3.1.3 - Imagens Orbitais (LANDSAT)	VIII.23
8.3.2 - Áreas Urbanas	VIII.29
8.3.2.1 - Fotografias Aéreas	VIII.29
8.3.2.2 - Imagens Orbitais (LANDSAT)	VIII.31
BIBLIOGRAFIA	VIII.36
 <u>CAPÍTULO IX - INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO</u>	
<u>EM OCEANOGRAFIA</u>	IX.1
9.1 - Considerações Gerais	IX.1
9.2 - Procedimento de Interpretação Visual	IX.4
 <u>CAPÍTULO X - ANÁLISE AUTOMÁTICA DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS</u>	
10.1 - Introdução	X.1
10.1.1 - Histórico	X.1
10.1.2 - Elementos de um Sistema de Análise de Imagens	X.2
10.1.3 - Caracterização de uma Imagem Digital	X.3
10.1.4 - Caracterização Paramétrica de Imagens Digitais	X.4
10.2 - Processamento de Imagens	X.6
10.2.1 - Introdução	X.6
10.2.2 - Processamento Radiométrico	X.6
10.2.2.1 - Aumento de Contraste	X.6
10.2.2.2 - Divisão em Intervalos de Intensidade ("Level Slicer") .	X.8

10.2.2.3 - Relação entre Canais ("Ratio")	X.9
10.2.3 - Processamento Espacial	X.10
10.2.3.1 - Extração de Ruído	X.10
10.2.3.2 - Filtragem Digital	X.11
10.3 - Classificação de Padrões	X.12
10.3.1 - Introdução	X.12
10.3.2 - O Método do Paralelepípedo	X.14
10.3.3 - O Classificador Bayesiano	X.15
10.3.4 - Agregamento ("Clustering")	X.15
10.4 - Principais Componentes de Imagens Multiespectrais	X.17
10.5 - Seleção de Atributos	X.18
BIBLIOGRAFIA	X.21
<u>CAPÍTULO XI - APLICAÇÕES DE SENSORIAMENTO REMOTO EM GEOGRAFIA</u> ...	XI.1
11.1 - Introdução	XI.1
11.1.1 - Campos de Aplicação do Sensoriamento Remoto em Geografia	XI.2
11.2 - Exemplos de Aplicação de Sensoriamento Remoto em Geomorfologia	XI.2
11.2.1 - Aplicação de Fotografias Aéreas em Geomorfologia	XI.3
11.2.2 - Aplicação de Imagens MSS do LANDSAT	XI.3
11.2.3 - Aplicação de Imagens de Radar	XI.6
11.2.4 - Aplicação de Imagens de Scanner Aerotransportado.....	XI.6
11.3 - Aplicação de Sensoriamento Remoto ao Uso da Terra.....	XI.6
11.4 - Aplicações de Técnicas de Sensoriamento Remoto em Áreas Urbanas	XI.10
11.4.1 - Aplicação de Fotografias Aéreas em Estudos Urbanos	XI.10
11.4.2 - Utilização de Imagens Orbitais em Estudos Urbanos	XI.13
BIBLIOGRAFIA	XI.17
<u>CAPÍTULO XII - APLICAÇÕES DE SENSORIAMENTO REMOTO EM GEOLOGIA</u> ..	XII.1
12.1 - Introdução	XII.1
12.2 - Aplicações ao Mapeamento Geológico	XII.3
12.3 - Aplicações na Busca de Recursos Minerais	XII.7
12.4 - Aplicações a Geotécnica	XII.9
12.5 - Aplicações ao Planejamento da Ocupação Humana	XII.11
12.6 - Aplicações à Prevenção e ao Monitoramento de Fenômenos Geológicos Prejudiciais	XII.11

12.7 - Conclusões	XII.12
<u>CAPÍTULO XIII - APLICAÇÕES DE SENSORIAMENTO REMOTO EM AGRONOMIA E FLORESTA</u>	
13.1 - Introdução	XIII.1
13.2 - Sensoriamento Remoto na Identificação e Avaliação de Áreas com Culturas	XIII.1
13.2.1 - Sensoriamento Remoto Aplicado à Previsão de Safras....	XIII.8
13.3 - Detecção de Anomalias em Culturas	XIII.10
13.3.1 - Uso das Bandas no Visível e no Infravermelho Próximo.	XIII.10
13.3.2 - Estudos de Anomalias na Faixa do Termal	XIII.12
13.4 - Sensoriamento Remoto Aplicado à Área Florestal	XIII.13
13.4.1 - Caracterização e Mapeamento Florestal	XIII.14
13.4.2 - Inventário Florestal	XIII.19
13.4.3 - Manejo Florestal	XIII.24
BIBLIOGRAFIA	XIII.27
<u>CAPÍTULO XIV - APLICAÇÕES DE SENSORIAMENTO REMOTO EM OCEANOGRAFIA</u>	
14.1 - Introdução	XIV.1
14.2 - Sensoriamento Remoto em Oceanografia Física	XIV.4
14.2.1 - Temperatura da Superfície do Mar	XIV.4
14.2.2 - Circulação Superficial do Mar	XIV.5
14.2.3 - Circulação Oceânica Profunda	XIV.7
14.2.4 - Circulação Estuarina	XIV.8
14.2.5 - Identificação de Massas d'água	XIV.8
14.2.6 - Interação Mar-Ar	XIV.9
14.2.7 - Medições do Estado do Mar	XIV.10
14.2.8 - Definindo a Superfície do Geóide	XIV.11
14.2.9 - Propriedades Ópticas da Água do Mar	XIV.12
14.2.10 - Frentes Oceânicas	XIV.14
14.2.11 - Salinidade	XIV.15
14.2.12 - Manchas Superficiais, Espuma e Películas	XIV.15
14.2.13 - Óleo de Peixe	XIV.16
14.3 - Oceanografia Biológica	XIV.17
14.3.1 - Estimativa da Quantidade de Clorofila	XIV.18

14.3.2 - Estudos de Comportamento	XIV.18
14.4 - Oceanografia Geológica	XIV.19
14.4.1 - Transporte de Sedimentos	XIV.19
14.4.2 - Batimetria Costeira	XIV.20
14.4.3 - Observações Geofísicas	XIV.22
14.5 - Oceanografia Química	XIV.22
14.5.1 - Intercâmbio de Gases na Interface Mar-Ar	XIV.22
BIBLIOGRAFIA	XIV.25

LISTA DE FIGURAS

I.1 - Elementos da fase de aquisição	I.3
I.2 - Espectro eletromagnético	I.6
I.3 - Intensidade radiante e ângulo sólido	I.10
I.4 - Radiância de uma superfície	I.11
I.5 - Reflexão, transmissão e absorção de um fluxo de REM	I.12
I.6 - Reflectância espectral de amostras de solo, água e vege tação	I.13
I.7 - Radiância espectral de um corpo negro em várias tempera turas	I.16
I.8 - Espectro solar	I.18
I.9 - Reflexão especular e difusa	I.23
II.1 - Componentes básicas de um radiômetro	II.1
II.2 - Elementos formadores da resolução de um sistema sensor.	II.3
II.3 - Partes de uma câmara fotográfica aérea	II.5
II.4 - Curva característica de um filme P&B	II.7
II.5 - Sensitividade espectral	II.8
II.6 - Filme colorido negativo	II.10
II.7 - Filme colorido reversível	II.11
II.8 - Filme infravermelho falsa-cor	II.12
II.9 - Radiômetro imageador	II.15
II.10 - Radar de Visada Lateral	II.17
II.11 - Configuração do satélite LANDSAT	II.20
II.12 - Inclinação da órbita do satélite LANDSAT para manter a órbita síncrona com o sol	II.22
II.13 - Esquema da órbita do satélite LANDSAT	II.22
II.14 - Órbitas do satélite LANDSAT para um dia de cobertura...	II.23
II.15 - Esquema do imageador multiespectral MSS	II.23
II.16 - Faixas espectrais do sistema MSS dos satélites LANDSAT.	II.24
II.17 - Faixas espectrais do sistema RBV	II.25
II.18 - Sistema RBV dos satélites LANDSAT	II.26
III.1 - Figura matemática	III.1
III.2 - Figura matemática	III.2
III.3 - Figura matemática	III.2
III.4 - Figura matemática	III.3

III.5 - Figura matemática	III.5
III.6 - Figura matemática	III.5
III.7 - Figura matemática	III.6
III.8 - Figura matemática	III.8
III.9 - Figura matemática	III.9
III.10 - Figura matemática	III.10
III.11 - Figura matemática	III.11
III.12 - Figura matemática	III.12
III.13 - Figura matemática	III.12
IV.1 - Elementos texturais de drenagem	IV.9
V.1 - Principais padrões de drenagem: I - dendríticos; II - radial concêntrico; III - anular; IV - retangular; IV - treliça	V.5
V.2 - I - A) alta densidade; B) baixa densidade; limite entre zonas homólogas de drenagem; II - Tropic:bidirecional; III - assimetria	V.5
V.3 - Lineações ou alinhamento de relevo	V.6
V.4 - Elementos de textura de relevo; A) alta densidade de textura; B) baixa densidade de textura; limite entre zonas homólogas de relevo	V.6
V.5 - Formas de encostas: I - côncava-retilínea-convexa; II - côncava; III - côncava-convexa; IV - convexa	V.7
V.6 - Modelos interpretativos de falhas: descontinuidades de zonas homólogas ao longo de um alinhamento (Soares e Fiori, 1976)	V.9
V.7 - Modelo fotointerpretativo de áreas fortemente dobradas. Elementos de análise: 1 - alinhamento de relevo; 2 - traço de acamamento; 3 - traço de foliação. Interpretação: 4 - falha de empurrão; 5 - anticlinal; 6 - sinclinal; 7 - limite de zona homóloga. (Soares e Fiori, 1976)	V.9
VII.1 - Disposição espacial dos principais tipos de padrões de drenagem	VII.9
VII.2 - Densidade de padrões de drenagem: A - alta; B - baixa ..	VII.9
VIII.1 - Tonalidade e Textura nas imagens de radar	VIII.22
IX.1 - Coeficiente de atenuação por comprimento de onda de radiação para água pura e vários tipos de água oceânica.	IX.3
X.1 - Elementos de um sistema de análise de imagens	X.2
X.2 - Histograma	X.4
X.3 - Histogramas de área urbana (a) e vegetação (b)	X.5
X.4 - Histograma original (a) e histograma transformado (b).	X.7

X.5 - Função de transferência	X.8
X.6 - Sistema de classificação de padrões	X.13
X.7 - Espaço de atributos	X.16

LISTA DE TABELAS

I.1 - Principais janelas atmosféricas	I.20
II.1 - Tipos de filmes aéreos e suas características de maior importância	II.13
XIII.1 - Estimativa do volume de madeira (m ³ /ha)	XIII.23
XIV.1 - Sensores remotos representativos para oceanografia ..	XIV.2

CAPÍTULO I

PRINCÍPIOS FÍSICOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

1.1 - SENSORIAMENTO REMOTO - CONCEITO

Um fluxo de radiação eletromagnética ao se propagar pelo espaço pode interagir com superfícies ou objetos, sendo por estes refletido, absorvido e mesmo reemitido. As variações que essas interações produzem no fluxo considerado dependem fortemente das propriedades físico-químicas dos elementos irradiados e o fluxo resultante constitui uma valiosa fonte de informações a respeito daquelas superfícies ou objetos. Essa idéia básica tem motivado a criação de equipamentos, que situados a grandes distâncias de alvos naturais podem detectar e registrar o fluxo de Radiação Eletromagnética (REM) proveniente dos mesmos; as informações obtidas, geralmente sob a forma de gráficos ou imagens, são então analisadas por especialistas na busca de dados que os auxiliem no desenvolvimento de projetos de pesquisa e controle de recursos naturais.

A utilização de sistemas sensores em nível aéreo ou orbital permite a aquisição de imagens da superfície da Terra, de forma síncrona e mesmo repetitiva. Considerando-se que as propriedades dos alvos naturais se manifestam de forma característica no fluxo de REM que refletem ou emitem, tais imagens, quando obtidas em faixas espectrais adequadas, permitem que um máximo de discriminação entre os alvos e sua vizinhança seja conseguido e constituem um meio rápido, econômico e eficiente para a detecção dos mesmos na área analisada.

Dentro desse contexto pode-se conceituar Sensoriamento Remoto como um conjunto de atividades, cujo objetivo reside na caracterização das propriedades de alvos naturais, através da detecção, registro e análise do fluxo de energia radiante, refletido ou emitido pelos mesmos.

1.2 - ELEMENTOS DA FASE DE AQUISIÇÃO

Na metodologia de Sensoriamento Remoto, duas fases podem ser destacadas: a fase de AQUISIÇÃO, relacionada com os processos de detecção e registro da informação e a fase de ANÁLISE que compreende o tratamento e a interpretação dos dados obtidos.

Especificamente na fase de aquisição, pode-se identificar a participação de elementos cuja influência, nas características da informação obtida, deve ser bem compreendida para uma correta interpretação da mesma; basicamente esses elementos são:

- Energia Radiante
- Fonte
- Alvo
- Trajetória
- Sensor

Como pode ser observado no exemplo da Figura I.1, a energia radiante emitida pela fonte (sol), após atravessar a atmosfera (trajetória), irradia a superfície (alvo), sendo refletida pela mesma; parte dessa energia atravessa novamente a atmosfera e é coletada pelo sistema sensor, onde é detectada e registrada.

1.2.1 - ENERGIA RADIANTE

Sempre que se realiza trabalho, algum tipo de energia deve ser transferida de um corpo a outro ou de um local a outro no espaço. De todas as possíveis formas de energia, uma de especial importância ao sensoriamento remoto, e a única que não necessita de um meio material para se propagar é a energia radiante ou energia eletromagnética. O exemplo de energia radiante mais familiar e de maior importância é a energia solar, que se propaga pelo espaço vazio desde o sol até a terra.

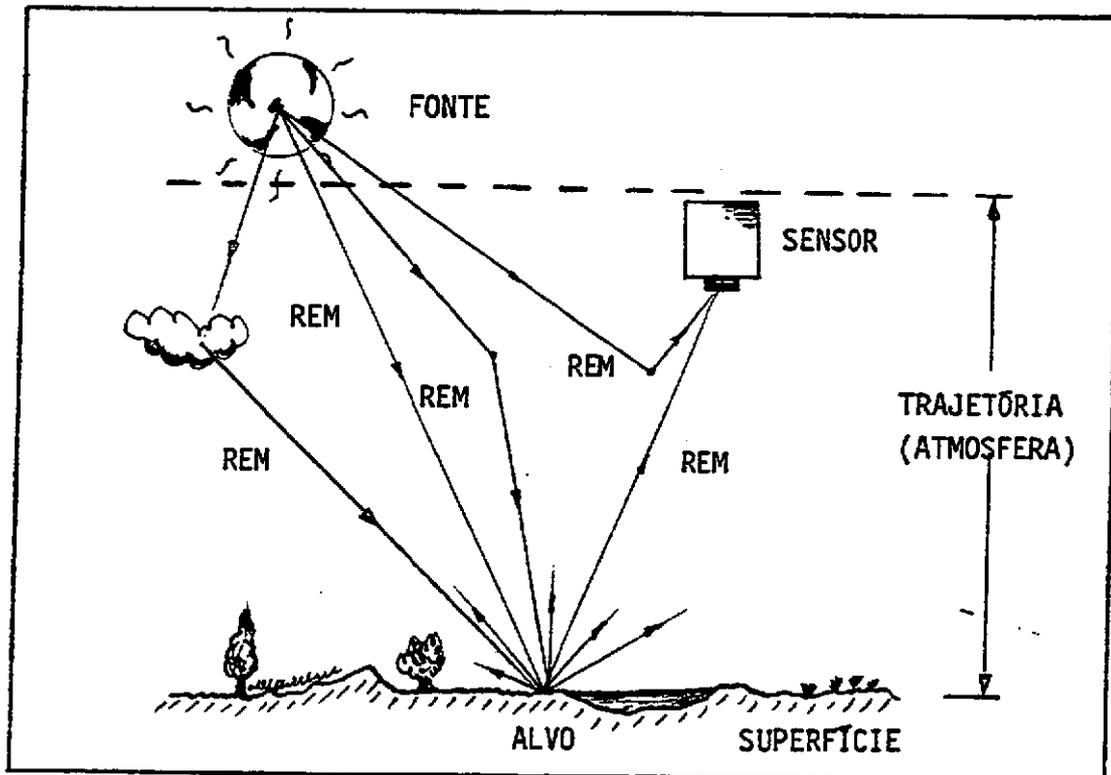


Fig. I.1 - Elementos da fase de aquisição

Dois são os modelos usados para explicar a natureza da energia eletromagnética. Enquanto esta se propaga de um ponto a outro, é conveniente utilizar-se o, assim chamado, modelo ondulatório. Segundo este modelo, a energia se propaga através do espaço com a velocidade de 300.000 km/seg, sob a forma de ondas. Uma onda eletromagnética consiste de dois campos, um elétrico e outro magnético, oscilantes na direção perpendicular à direção de propagação e mutuamente perpendiculares entre si. Assim, a radiação eletromagnética pode-se atribuir um comprimento de onda λ e uma frequência f , que estão relacionados entre si e à velocidade de propagação c , pela equação:

$$\lambda f = c \quad (I.1)$$

com: λ dado em unidades de comprimento, p. e., metros

f dado em unidades de tempo⁻¹, p.e., ciclos/seg. ou Hertz (Hz)

p.e.,

c em unidades de velocidade, p.e., m/seg, sendo p.e.,

$c = 3 \times 10^8$ m/seg.

Sempre que a radiação eletromagnética passa de um meio material para outro de diferente densidade (índice de refração), tem-se uma mudança na velocidade de propagação c e no comprimento de onda, sendo conservada a frequência.

Embora a teoria ondulatória seja bastante adequada para longos comprimentos de onda e para exprimir os processos de propagação da energia eletromagnética, quando se trata dos processos de absorção e emissão de energia radiante e curtos comprimentos de onda, costuma-se usar a teoria corpuscular da radiação eletromagnética. Este modelo, proposto em 1900 por Max Planck, afirma que a energia é emitida, absorvida ou propagada, não de maneira contínua, mas sim, em pequenas parcelas discretas de energia chamadas quanta (plural de quantum) ou fótons.

Um fluxo de radiação eletromagnética de frequência f é constituído de fótons com energia E dada pela equação:

$$E = hf \quad (I.2)$$

onde $h = 6,624 \times 10^{-34}$ joule.seg. é chamada constante de Planck. Usando-se a equação I.1, também pode-se escrever:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (I.3)$$

Vê-se, então, que a quantidade de energia contida em cada fóton de um fluxo de radiação eletromagnética é diretamente proporcional à frequência e inversamente proporcional ao comprimento de onda.

a) O Espectro Eletromagnético

A faixa de comprimentos de onda ou frequências em que se pode encontrar a REM é praticamente ilimitada. Com a tecnologia atualmente disponível, pode-se gerar ou detectar a REM numa extensa faixa de frequência, que se estende de 1 a 10^{24} Hz, ou comprimentos de onda de aproximadamente 10^8 a 10^{-15} metros. Pode-se esquematizar a distribuição da REM segundo seu comprimento de onda ou frequência, ao que se chama de espectro eletromagnético, como se vê na Figura II.2.

Este espectro é subdividido em faixas, representando regiões que possuem características peculiares em termos dos processos físicos, geradores de energia em cada faixa, ou dos mecanismos físicos de detecção desta energia. Embora os limites de cada faixa espectral não sejam bem definidos, as seguintes regiões podem ser destacadas:

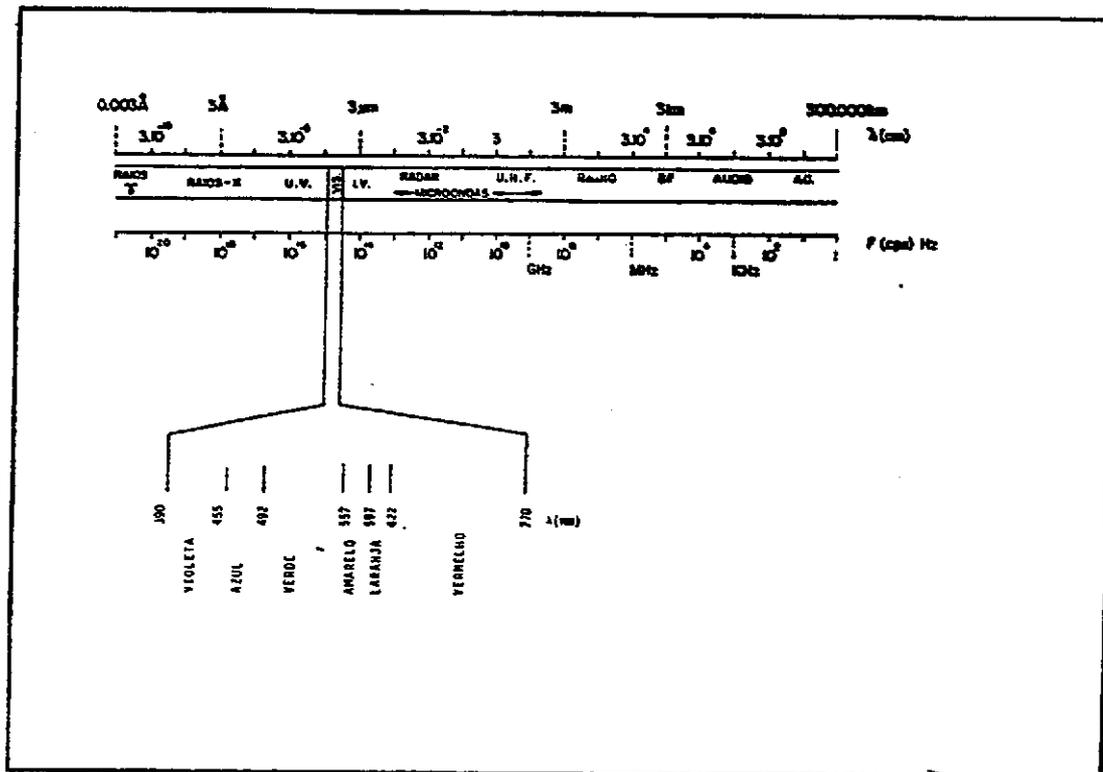


Fig. I.2 - Espectro eletromagnético

Ondas de Rádio - Estas ondas eletromagnéticas têm frequências relativamente baixas e conseqüentemente grandes comprimentos de onda, indo de aproximadamente alguns centímetros a algumas centenas de metros. As ondas eletromagnéticas nesta faixa são utilizadas para comunicação a longa distância, pois, além de serem pouco atenuadas pela atmosfera, são refletidas pela ionosfera, propiciando uma propagação de longo alcance.

Microondas - As microondas podem ser definidas como aquelas que se situam na faixa de 1mm a 30 cm, correspondendo a frequências entre 3×10^{11} e 10^9 Hz. Nesta faixa de comprimentos de onda, podem-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. A radiação eletromagnética nesta faixa tem sido largamente utilizada em sensoriamento remoto, pois a sua pouca atenuação pela atmosfera, ou nuvens, propicia um excelente meio de uso de sensores de microondas em qualquer condição de tempo.

Infravermelho - Este tipo de radiação, de grande importância para o sensoriamento remoto, engloba radiação com comprimentos de onda de 0,75 μ m a 1,0 mm. Uma das características da radiação infravermelho é sua fácil absorção pela maioria das substâncias, nelas produzindo um efeito de aquecimento. Deve-se notar que a energia emitida pelos corpos aquecidos se situa 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 aproximadamente 750nm. Este tipo de radiação pode ser produzi

do, p.e., por luminescência ou por corpos muito quentes. Esta faixa de comprimentos de onda é de grande importância para o sensoriamento remoto, pois imagens obtidas na mesma, geralmente, apresentam excelente correlação com a experiência visual do intérprete.

Ultravioleta - A radiação ultravioleta engloba uma extensa faixa do espectro eletromagnético, que vai de 100 Å a 4000 Å ($1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$). É interessante notar que as películas fotográficas são mais sensíveis à radiação ultravioleta, que à luz visível. Embora esta faixa do espectro mostre um relativo potencial de aplicações em sensoriamento remoto, tais como detecção de minerais por luminescência, poluição marinha, a forte atenuação atmosférica nesta faixa se apresenta como um grande obstáculo na sua utilização.

Raios-X - Os raios-X são definidos como radiação na faixa de comprimento de onda de, aproximadamente, 10^{-8} a 10^{-12} m. São gerados, predominantemente, pela parada ou freamento de elétrons de alta energia. Por se constituir de fótons de alta energia, os raios-X são altamente penetrantes, sendo uma poderosa ferramenta em pesquisa sobre a estrutura da matéria.

Raios-Gama - Os raios-gama são as mais penetrantes das emissões de substâncias radiativas. Não existe, em princípio, limite superior para a frequência das radiações gama, embora ainda seja encontrada uma faixa superior de frequência para a radiação conhecida como raios cósmicos.

A faixa espectral, que se estende de 0,3 μm a 15,0 μm , é a mais usada em sensoriamento remoto. Esta região do espectro é conhecida por espectro óptico, pois nela os componentes ópticos de reflexão e refração, tais como lentes, espelhos, prismas, etc., podem ser usados para coletar e reorientar a radiação.

b) Grandezas Radiométricas

As propriedades radiantes de uma superfície ou objeto costumam ser estudadas através da medição e comparação, em intervalos de comprimento de onda discretos, dos fluxos de REM envolvidos na interação. Ao conjunto das técnicas utilizadas na medição dessas grandezas, no espectro óptico, denomina-se Radiometria.

Energia Radiante - Q - como qualquer outra modalidade de energia é medida em joules (J)

Fluxo Radiante - ϕ - é definido como a quantidade de energia radiante, por unidade de tempo, que flui por uma posição no espaço.

$$\phi = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad \text{em J/g ou Watt (W)} \quad (I.4)$$

Irradiância - E - é a densidade superficial do fluxo que irradia uma superfície.

$$E = \frac{\Delta \phi}{\Delta A} \quad \text{em W/m}^2 \quad (I.5)$$

Excitância - M - é a densidade superficial do fluxo refletido ou emitido por uma superfície.

$$M = \frac{\Delta \phi}{\Delta A} \quad \text{em W/m}^2 \quad (I.6)$$

Note que a diferença entre a irradiância e a excitância reside no sentido de propagação do fluxo radiante.

Intensidade Radiante - I - uma fonte pontual radia energia para todo o espaço. Uma pequena superfície (ΔA), situada a uma certa distância (r) da fonte, define com esta uma direção e um ângulo sólido (cônico) $\Delta \omega$ como mostra a Figura I.3. Chama-se intensidade radiante da fonte, na direção considerada, a razão entre o fluxo que se propaga no ângulo sólido e o valor deste, assim:

$$I = \frac{\Delta\phi}{\Delta\omega} \quad \text{em W/Steradianos(sr)} \quad (1.7)$$

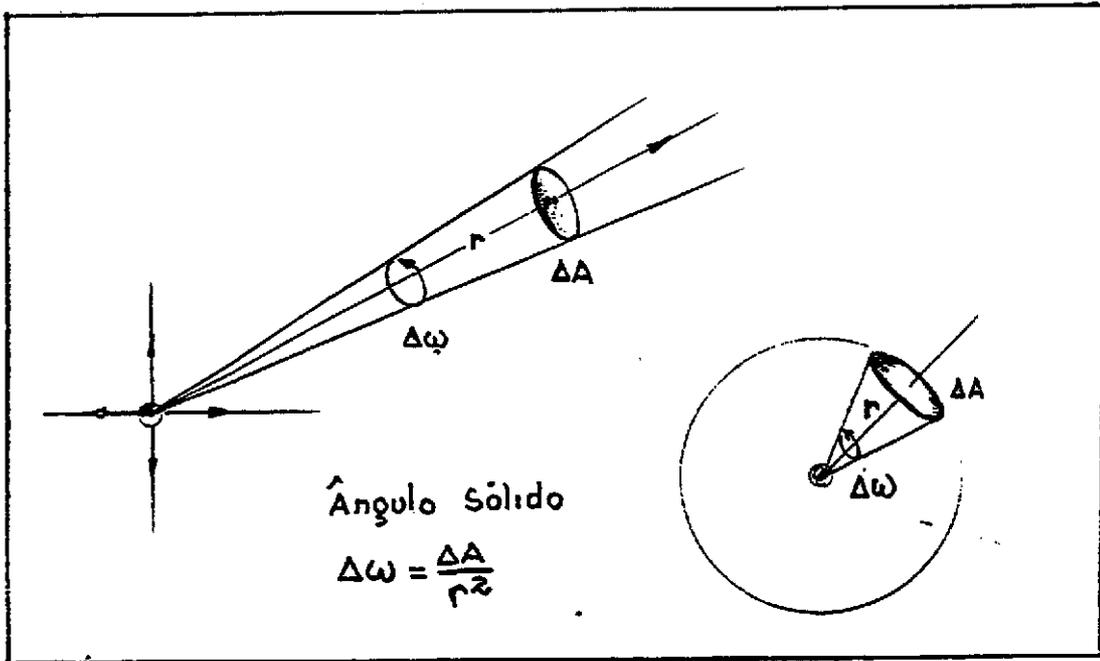


Fig. I.3 - Intensidade radiante e ângulo sólido

Uma fonte pontual, ou uma aproximação desta, cuja intensidade é numa direção θ , é dada por:

$$I_{\theta} = I_0 \cos\theta \quad (1.8)$$

onde I_0 é sua intensidade radiante máxima e θ o ângulo entre as direções de I_{θ} e I_0 , é denominada FONTE LAMBERTIANA.

Radiância - N - ou intensidade radiante média, dos pontos que constituem uma amostra de superfície refletora ou emissora, pode ser avaliada pela razão entre a intensidade radiante da amostra (como se esta fosse pontual) e a área da mesma, projetada na direção da medição. (Figura I.4):

$$N = \frac{I}{\Delta A \cos \theta} = \frac{\Delta \phi}{\Delta A \cos \theta \Delta \omega} \quad \text{em } \frac{W}{m^2 sr} \quad (I.9)$$

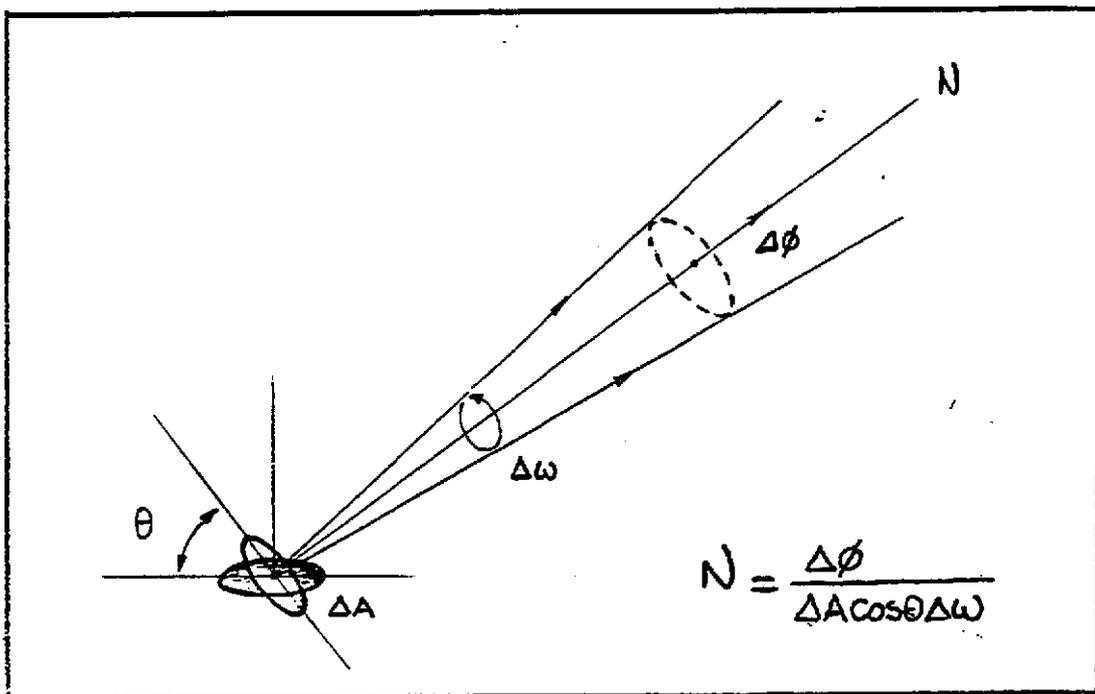


Fig. I.4 - Radiância de uma superfície

É interessante notar que se a amostra é constituída de pontos que se comportam como fontes Lambertianas:

$$N_{\theta} = \frac{I_{\theta}}{\Delta A \cos \theta} = \frac{I_0 \cos \theta}{\Delta A \cos \theta} = N_0$$

ou seja, a radiância da amostra não varia com a direção. Neste caso a superfície em questão é denominada LAMBERTIANA.

Reflectância, Absortância e Transmitância - Quando um fluxo de REM irradia um objeto, três fenômenos podem ocorrer: parte do fluxo é refletido, parte penetra no objeto, sendo progressivamente absorvido, e parte consegue atravessá-lo, emergindo novamente para o espaço, como mostra a Figura I.5. Considerando-se a lei de conservação da energia, pode-se escrever:

$$\phi_i = \phi_r + \phi_a + \phi_t \quad (I.10)$$

onde *i*, *r*, *a* e *t*, indicam as naturezas dos fluxos envolvidos, isto é: incidente, refletido, absorvido e transmitido. Dividindo-se os dois membros da equação anterior por ϕ_i , tem-se:

$$1 = \frac{\phi_r}{\phi_i} + \frac{\phi_a}{\phi_i} + \frac{\phi_t}{\phi_i} \quad (I.11)$$

Nesta equação, as frações do segundo membro costumam ser denominadas reflectância, absortância e transmitância do objeto, e representadas pelas letras gregas ρ , α e τ , então:

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (I.12)$$

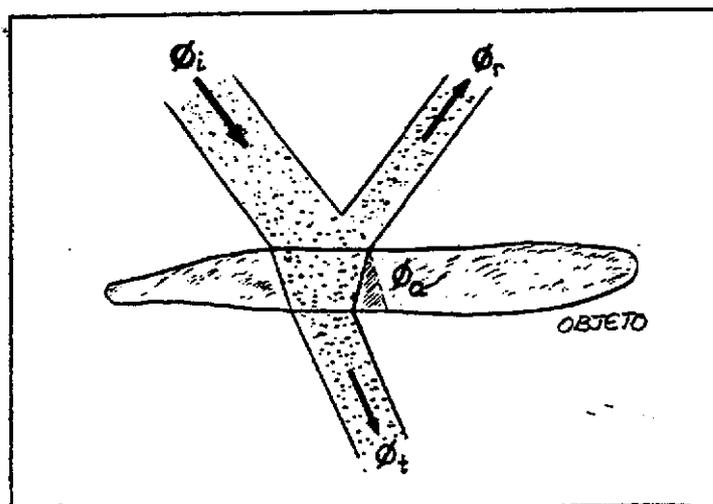


Fig. I.5 - Reflexão, transmissão e absorção de um fluxo de REM

c) Grandezas Espectrais

Todas as grandezas radiométricas, anteriormente definidas, podem ser avaliadas em pequenos intervalos de comprimento de onda sucessivos, para a caracterização espectral do fluxo considerado; por exemplo, se a radiância de uma superfície é medida num pequeno intervalo de comprimento de onda $\Delta\lambda$, o resultado obtido é denominado radiância espectral e expresso por:

$$N_{\lambda} = \frac{\Delta\phi}{\Delta A \cos\theta \Delta\omega \Delta\lambda} \quad \text{em W/m}^2 \text{ nm}$$

Usualmente as grandezas radiométricas espectrais são apresentadas sob a forma de gráficos, onde aparecem registrados em função do comprimento de onda. Como exemplo, a Figura I.6, mostra o comportamento espectral de amostras de água, solo e vegetação, através dos gráficos de reflectância espectral das mesmas.

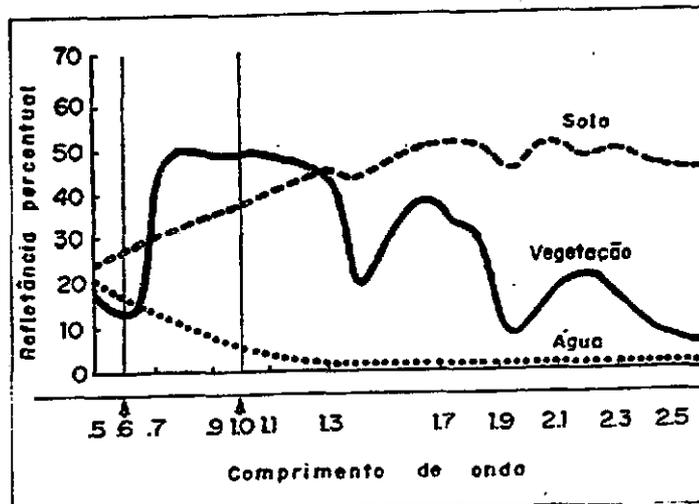


Fig. I.6 - Reflectância espectral de amostras de solo, água e vegetação

1.2.2 - FONTES

Dentro da faixa do espectro ótico (0,3 a 15 μm), onde a maioria dos experimentos em sensoriamento remoto é realizada, pode-se trabalhar com a energia emitida ou refletida pelos alvos naturais.

Essa energia refletida ou emitida pode se originar de fontes naturais como: o Sol, a Terra, a radiatividade, etc. ou fontes artificiais como: o Radar e o Laser.

Uma fonte de energia eletromagnética é caracterizada por um espectro de emissão, que pode ser contínuo ou distribuído em faixas discretas. O sol, por exemplo, emite radiação distribuída, continuamente, numa faixa que vai da região dos Raios-X até a região das microondas. Os radares e lasers emitem radiação concentrada em estreitas faixas do espectro.

a) Radiação Térmica

Todo corpo com temperatura superior a zero grau absoluto (0°K) emite radiação eletromagnética. A quantidade de radiação emitida em Watt/m^2 (excitância) é função da temperatura do corpo, e é por isso denominada térmica. Assim, se através de algum sensor remoto houver possibilidade de avaliar a energia emitida pelo corpo, poder-se-á estimar sua temperatura.

Como cada corpo possui características próprias de emissão térmica, para poder analisar o espectro da radiação emitida por diferentes corpos, segundo um mesmo enfoque, deve-se lançar mão de uma teoria geral de emissão, que serve como base de análise, cuja teoria dá-se o nome de Teoria do Radiador Perfeito.

Define-se radiador perfeito como um corpo capaz de absorver toda energia radiante, sobre ele incidente. Um objeto com esta propriedade costuma também ser chamado de Corpo Negro (C.N.). Um corpo

negro é capaz de emitir mais fluxo radiante, total ou espectral, por unidade de área que qualquer outro, não negro, na mesma temperatura.

O corpo negro é uma abstração útil para o desenvolvimento de modelos que explicam a emissão térmica.

Planck trabalhando sobre este modelo e supondo que a energia é emitida discretamente em uma unidade chamada quanta, deduziu que a emitância espectral de um corpo negro pode ser relacionada à sua temperatura absoluta, pela seguinte relação (lei de Planck):

$$W_{\lambda} = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{(e^{c_2/\lambda T} - 1)} \quad (I.13)$$

onde:

$$\begin{aligned} c_1 &= 3,74 \times 10^{-16} \text{ w m}^2 \\ c_2 &= 1,44 \times 10^{-2} \text{ m } ^\circ\text{K} \\ T &= \text{temperatura absoluta} \end{aligned}$$

Na Figura I.7, apresenta-se a excitância espectral de um corpo negro para várias temperaturas.

Na Figura I.7, verifica-se que o comprimento de onda, que corresponde à excitância espectral máxima, desloca-se na direção de comprimentos de ondas cada vez menores, à medida que aumenta a temperatura do C.N. A relação entre o comprimento de onda de máxima excitância espectral e a temperatura absoluta do corpo é dada por (lei de Wien):

$$\lambda_m = c/T \quad (I.14)$$

onde: $c = 2898 \text{ } \mu\text{m } ^\circ\text{K}$
 $T = \text{temperatura absoluta}$

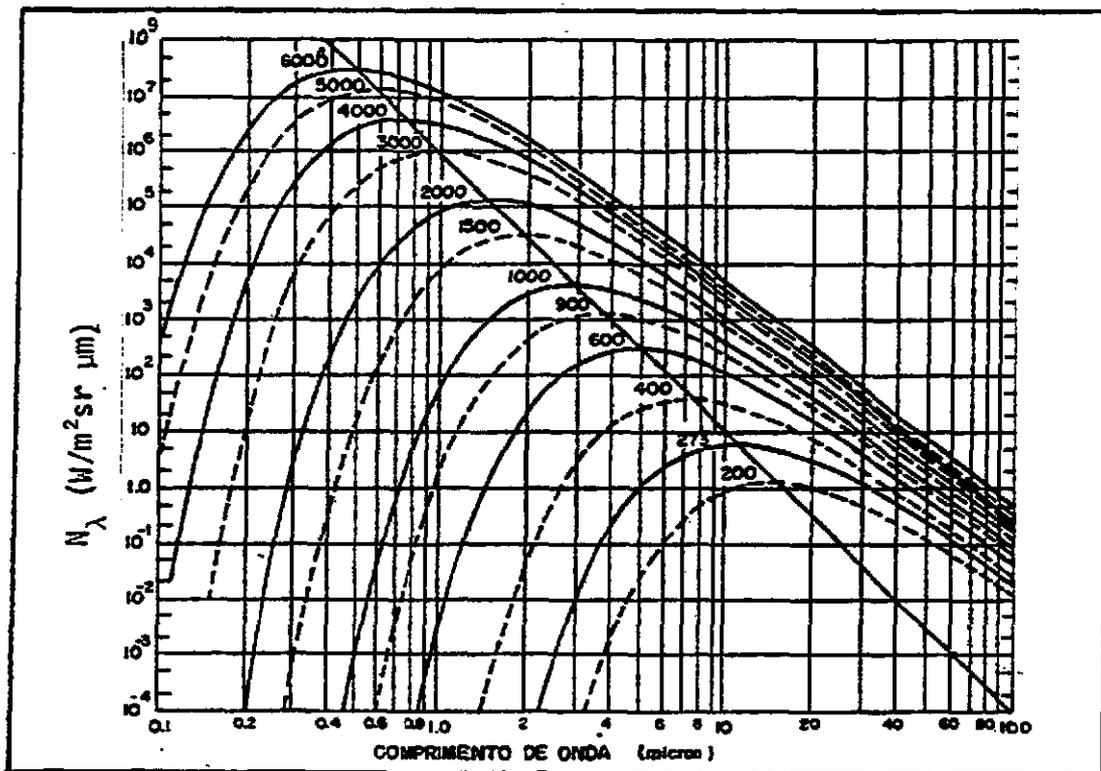


Fig. I.7 - Radiação espectral de um corpo negro em várias temperaturas

A excitância radiante de um corpo negro em todo o espectro é proporcional a quarta potência de sua temperatura absoluta, ou seja:

$$M = \sigma T^4 \quad (I.15)$$

onde: T = temperatura absoluta

$$\sigma = 5.669 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ OK}^{-4} = \text{constante de Stefan - Boltzmann.}$$

Esta relação é conhecida como a lei de Stefan-Boltzmann. Assim, por exemplo, ao duplicar-se a temperatura de um corpo, sua excitância será multiplicada por 16.

b) Corpos Reais

Na natureza, os diferentes materiais não são corpos ne gros, por isso, não seguem perfeitamente as leis de radiação definidas anteriormente. Uma das principais razões para isto está no fato que parte da radiação incidente não é absorvida, sendo refletida ou mesmo transmitida.

Quando se trata de corpos reais, deve-se introduzir, na lei de radiação de Planck, uma constante multiplicadora conhecida como emissividade (E).

A emissividade (E) é definida como a razão da excitância de um corpo real pela excitância de um corpo negro, à mesma temperatura. Como a excitância de um corpo negro é a maior possível para a temperatura considerada, a emissividade do corpo real é sempre menor que 1. Desta forma, a emissividade de um corpo caracteriza quanto este corpo se aproxima ou se afasta do padrão teórico de um corpo negro.

Este parâmetro é muito importante na determinação da temperatura de um corpo, através de medidas remotas de sua excitância, pois a diferença entre a temperatura real do corpo e aquela obtida remotamente será tanto maior, quanto menor for o valor da sua emissividade de E.

c) Radiação Solar

O sol é a fonte de energia eletromagnética mais importante, utilizada em sensoriamento remoto. Ele emite radiação como um corpo negro, a uma temperatura aproximada de 6000 °K, na faixa espectral de 0,2 a 10 μm , como pode ser visto nas curvas a e b da Figura I.8.

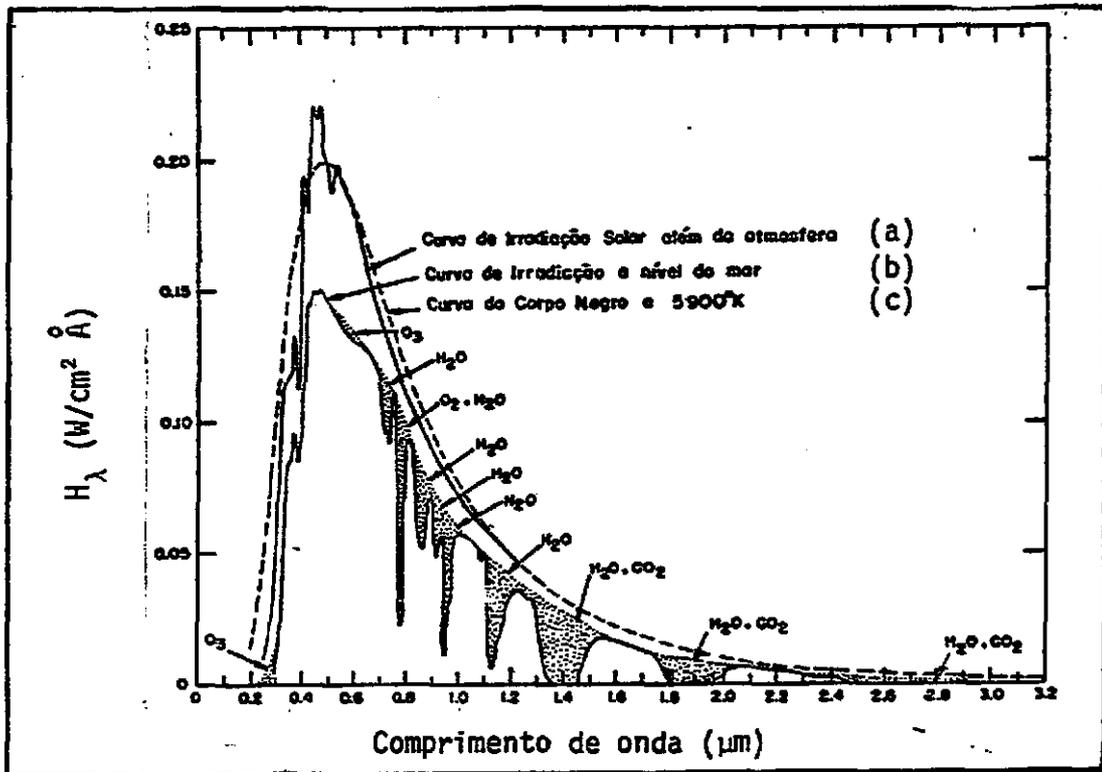


Fig. I.8 - Espectro solar

O fluxo de energia solar que atinge o topo da atmosfera terrestre é cerca de $2,0 \text{ cal cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ ou 1400 Watts/m^2 . Este valor é chamado constante solar.

Pela Figura I.8, verifica-se que o comprimento de onda de máxima emissão é, aproximadamente, $0,5 \mu\text{m}$ e que quase 99% da radiação solar cai dentro do "range" espectral de $0,15$ a $4,0 \mu\text{m}$.

1.2.3 - EFEITOS ATMOSFÉRICOS

Quando se coleta um dado através de um sensor remoto, seja a nível de satélite ou aeronave, o sinal coletado, na maioria das vezes, é a radiação proveniente do sol, que interage com a atmosfera até atingir o alvo e retorna ao sensor interagindo novamente com a atmosfera. Mesmo que o sinal medido seja a radiação emitida pelo alvo,

ela interage com a atmosfera até atingir o sensor (Figura I.1). Assim, é importante conhecer os efeitos causados pela atmosfera no sinal medido por um sensor remoto.

Dois são os processos de atenuação mais importantes que afetam a propagação da REM pela atmosfera.

a) Absorção

A REM ao se propagar pela atmosfera é absorvida seletivamente pelos seus vários constituintes, tais como vapor d'água, ozônio, monóxido de carbono, etc.. Dentro da faixa do visível (0,4 a 0,7 μm), o ozônio é o principal atenuador por absorção, embora em muitos casos práticos esta absorção possa ser desprezada, por ser muito pequena.

Nas curvas a e c da Figura I.8, são mostrados os espectros de radiação solar no topo da atmosfera e ao nível do mar. Nesta figura também estão indicadas as faixas onde ocorrem absorção pelos diversos constituintes.

Existem ao longo de todo o espectro eletromagnético regiões onde a absorção atmosférica é relativamente pequena. Estas regiões, chamadas janelas atmosféricas, caracterizam-se por uma boa transmitância à REM. Portanto, essas são as regiões onde, praticamente, todas as atividades em sensoriamento remoto podem ser utilizadas com maior facilidade. Na Tabela I.1 apresentam-se as principais janelas.

TABELA I.1

PRINCIPAIS JANELAS ATMOSFÉRICAS

Ultravioleta e visível	0,3 - 0,75 μm	Espectro óptico
	0,77 - 0,91	
Infravermelho próximo	1,0 - 1,12	
	1,19 - 1,34	
	1,55 - 1,75	
	2,05 - 2,40	
Infravermelho médio	3,50 - 4,16	
	4,50 - 5,00	
Infravermelho termal	8,00 - 9,20	
	10,20 - 12,40	
	17,00 - 22,00	
Microonda	2,06 - 2,22 mm	
	3,00 - 3,75	
	7,50 - 11,50	
	20,00 +	

b) Espalhamento

Enquanto no processo de absorção a energia de um feixe é absorvida, transformada em outras formas e reemitida em outros comprimentos de onda, no processo de espalhamento a energia de um feixe colimado é removida por mudança de direção. Assim, a energia solar incidente no topo da atmosfera, que se caracteriza por ser colimada, isto é, se propaga numa direção bem definida, 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:

Espalhamento molecular ou Rayleigh: é produzido essencialmente pelas moléculas dos gases constituintes da atmosfera. Ele se caracteriza pelo fato de sua intensidade ser inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda da radiação. Assim, a luz azul ($\lambda \approx 440$ nm) será espalhada cerca de seis vezes mais que a luz vermelha ($\lambda \approx 700$ nm). Isto explica a coloração azul do céu.

Espalhamento Mie: ocorre quando o tamanho das partículas espalhadoras é da ordem do comprimento de onda da radiação. Quando os diâmetros das partículas espalhadoras forem iguais a λ , o espalhamento será proporcional a $1/\lambda^2$. No caso dos diâmetros serem iguais a $3/2$ de λ , o espalhamento será proporcional a $1/\lambda$.

Espalhamento não seletivo: ocorre quando os diâmetros das partículas são muito maiores que λ . Neste caso, a radiação de diferentes comprimentos de ondas será espalhada com igual intensidade. A aparência branca das nuvens é explicada por este processo.

Tanto no planejamento da aquisição de dados por sensores remotos, quanto no processo de interpretação dos mesmos é importante levar-se em conta o fenômeno de espalhamento, pois a energia coletada pelo sensor não provém somente do alvo, uma vez que, a energia espalhada pela atmosfera e outros alvos poderá atingir o sensor, mascarando parcial ou totalmente a informação desejada. Como exemplo, cita-se o fato que na faixa azul do espectro visível, ao se imagear a energia proveniente do oceano por satélite, 80 a 90% do sinal recebido é causado somente por espalhamento atmosférico.

1.2.4 - SUPERFÍCIES

Na maioria das aplicações de técnicas de sensoriamento remoto, há interesse em identificar, acompanhar ou estudar algum alvo ou fenômeno que se processa na superfície da Terra, ou que, mesmo não sendo de superfície, tenha alguma influência sobre ela. É através da análise das variações espaciais, espectrais e temporais da energia radiante, refletida ou emitida pela superfície de um alvo, que se extraem informações de interesse.

Um dos processos de interação da REM com a superfície dos alvos de maior relevância é o da reflexão, pois a maior parte das informações é obtida através da análise da energia refletida pelos alvos. Embora neste texto se considere a reflexão como um fenômeno essencialmente de superfície, deve-se ressaltar que, dependendo do comprimento de onda da radiação e das propriedades físicas do material, ela é resultante da interação da radiação com as várias camadas de subsuperfície. Por exemplo, devido à boa penetração no solo de radiação de comprimento de onda maiores que 5 metros, a análise da energia refletida pelo solo, nestes comprimentos de onda, pode ser usada para a avaliação do teor de umidade.

Com relação à distribuição espacial da energia refletida por uma superfície, podem-se considerar dois casos. A reflexão especular, causada por superfícies lisas ou a reflexão difusa, causada pe

Las superfícies rugosas. Deve-se observar que esta classificação, de lisa ou rugosa, atribuída a uma superfície, é dependente do comprimento de onda da radiação e do ângulo de incidência. Assim, uma superfície arenosa, que na faixa do visível se comporta como rugosa, pode parecer lisa na faixa de microondas. Segundo o critério de Rayleigh, considera-se uma superfície como lisa, para determinado comprimento de onda λ da radiação incidente na direção θ , quando suas irregularidades médias são de magnitude h dada por:

$$h \leq \lambda/8 \cos\theta \quad (\text{critério de Rayleigh}) \quad (I.16)$$

a) Reflexão especular

Quando a superfície de um alvo pode ser considerada lisa, segundo o critério de Rayleigh, tem-se a reflexão especular. Neste caso, a radiação incidente, a radiação refletida e a normal, à superfície no ponto de incidência, estão todas no mesmo plano e, além disto, a radiação é refletida segundo o mesmo ângulo de incidência (Figura I.9, letra a).

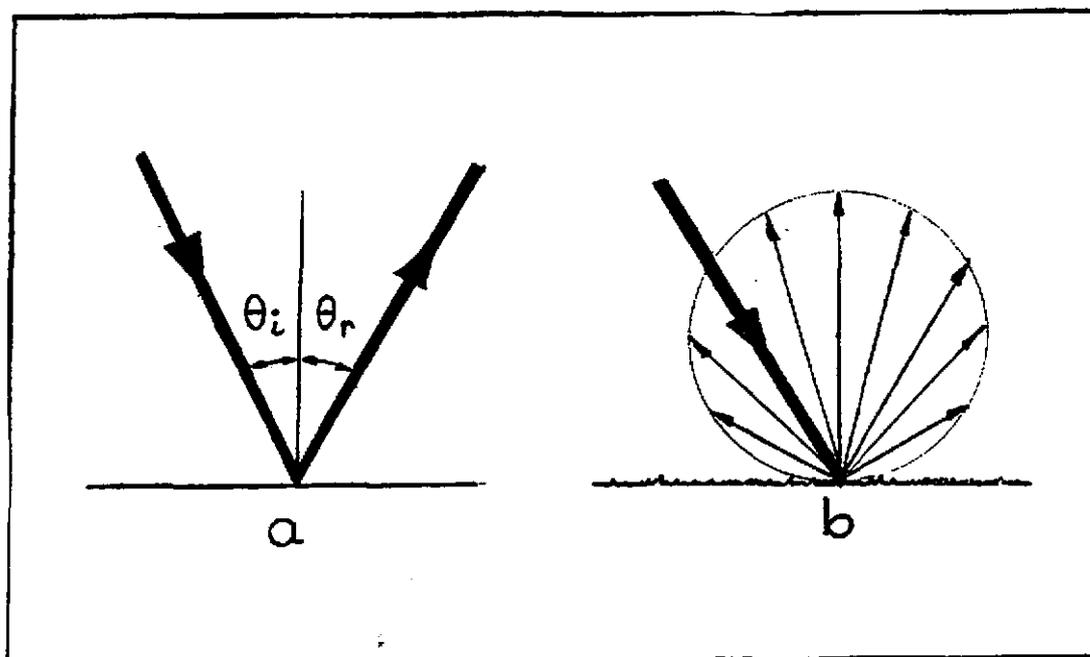


Fig. I.9 - Reflexão especular e difusa

A reflectância de uma superfície depende essencialmente de três fatores: ângulo de incidência, índice de refração do alvo e coeficiente de extinção. Quanto menor o ângulo de incidência, menor a porção de energia refletida. Em qualquer ângulo de incidência, a porção de luz refletida é diretamente proporcional ao seu índice de refração, e quanto maior a absorção de uma substância, maior seu coeficiente de extinção e maior sua reflectância. Este é um dos motivos pelo qual os metais são bons refletores.

b) Reflexão Difusa

Quando um alvo, devido às dimensões de suas irregularidades de superfície, ângulo de incidência e comprimento de onda da radiação incidente, não satisfaz o critério de Rayleigh, diz-se que sua superfície é rugosa e que produz reflexão difusa. Ao contrário da reflexão especular, neste caso, a superfície pode refletir radiação em todas as direções, gerando um campo de luz difusa (Figura I.9, letra b). Pode-se ter radiação sendo refletida na mesma direção de incidência, fenômeno também conhecido por retroespalhamento, de grande importância em aplicações de radar, uma vez que esta energia retroespalhada é a registrada pelo radar.

Em alguns casos, pode-se ter uma mistura de reflexão especular e difusa, mas para todos os efeitos, costuma-se considerar como reflexão difusa quando uma porção considerável, da ordem de 25% ou mais, da radiação é refletida difusamente.

Reflectância hemisférica: Para a reflexão difusa, pode-se definir a reflectância hemisférica ρ_h , como a razão entre a excitância radiante de uma superfície e a irradiância na mesma. Assim:

$$\rho_h = M / E \quad (I.17)$$

onde: M = excitância e E = irradiância.

Superfície Lambertiana: Quando uma superfície é completamente difusa, cada um de seus pontos reflete REM como uma fonte Lambertiana, e o seu efeito conjunto é o de uma superfície Lambertiana, isto é, sua radiância independe do ângulo de visada. Para este caso, pode-se provar que a radiância de uma superfície Lambertiana pode ser obtida, dividindo-se sua excitância por π , isto é,

$$N = M / \pi \quad (I.18)$$

Se se conhece a irradiância do fluxo de radiação incidente sobre um alvo Lambertiano, e pode-se medir sua radiância, sua reflectância hemisférica ρ_h será dada por:

$$\rho_h = \frac{N\pi}{E} \quad (I.19)$$

c) Reflectância Espectral

Para os propósitos do sensoriamento remoto, talvez mais importante que as mudanças geométricas/espaciais nos fluxos de REM refletidos, sejam as mudanças introduzidas pelos alvos nas características espectrais do fluxo refletido. Assim, cada alvo em particular ao interagir com a REM incidente, modula-a espectralmente, podendo introduzir, neste fluxo, significantes variações espectrais. Por exemplo, uma maçã tem a cor vermelha por refletir, predominantemente, a cor vermelha, absorvendo os outros comprimentos de onda do visível. Esta seletividade espectral da reflectância não se manifesta somente no visível; ela pode ser encontrada em todo o espectro eletromagnético, e grande quantidade de informação sobre os alvos pode ser extraída, remotamente, pelo conhecimento da reflectância espectral dos alvos.

O conhecimento dos espectros de reflectância dos diversos materiais permite quantificar e prever a distribuição espectral da REM refletida pelos mesmos. Este conhecimento é fundamental na esco

lha dos melhores canais ou faixas espectrais, onde algumas características dos alvos sejam realçadas, ou mesmo na interpretação de imagens ou dados obtidos por sensores remotos.

Na Figura I.6 estão representadas as curvas de reflectância espectral médias de três importantes tipos de alvos para o sensoriamento remoto do meio ambiente, quais sejam: solo, vegetação e água. Pode-se ver que cada material apresenta uma curva de reflectância espectral bastante típica, distinguindo-a das demais. A esta reflectância espectral também dá-se o nome de assinatura espectral.

Associando-se a reflectância de um alvo com o nível de cinza de uma imagem fotográfica, isto é, níveis de cinza mais claros representando reflectâncias mais altas e vice-versa, pode-se utilizar a Figura I.6 para se extrair algumas conclusões interessantes. Por exemplo, numa imagem obtida na faixa de $0,6 \mu\text{m}$, os níveis de cinza mais escuros representam vegetação. Níveis de cinza um pouco mais claros representam corpos d'água e aqueles mais claros representam solo. Se esta mesma imagem fosse obtida em $1,0 \mu\text{m}$, os níveis de cinza mais claros representariam vegetação, os níveis de cinza um pouco mais escuros, solos, e os níveis de cinza bastante escuros representariam corpos d'água.

Assim, na interpretação de imagens multiespectrais, o intérprete deve levar em conta as variações de reflectância com o comprimento de onda, para uma correta interpretação e análise dos dados.

d) Emissividade

Como já visto anteriormente, pode-se inferir a temperatura de um corpo por meio de medidas remotas da energia por ele emitida, lançando mão da teoria da emissão termal dos corpos negros.

Sabe-se que um corpo negro emite um espectro de radiação característico, dado pela lei de Planck, com um máximo de emissão no com

primento de onda λ_m , dado pela lei de Wien. Assim, por exemplo, se o corpo negro estiver a 300°K (27°C), o seu máximo de emissão estará em $9.6\ \mu\text{m}$. Vê-se, então, que os corpos à temperatura ambiente emitem REM com máxima intensidade dentro da janela atmosférica de 8 a $14\ \mu\text{m}$. Usando-se um radiômetro que opere nesta faixa do espectro, pode-se me dir, num intervalo de comprimento de onda, a energia emitida por um alvo. Pode-se agora associar a esta medida, a temperatura que um cor po negro deveria ter, para que emitisse, na mesma faixa, idêntica quan tidade de energia. A esta temperatura dá-se o nome de temperatura apa rente.

Para a maior parte dos materiais, a sua emissividade é praticamente independente da temperatura nas faixas de temperatura am biente.

Deve-se salientar que a emissividade de um corpo é função do comprimento de onda, e assim, pode-se definir uma emissividade es pectral ϵ_λ , como a razão da excitância do corpo num estreito interva lo de comprimento de onda em torno de λ , pela correspondente excitân cia de um corpo negro à mesma temperatura e no mesmo intervalo. Assim:

$$\epsilon = \frac{M_\lambda(\text{material}, ^\circ\text{K})}{M_\lambda(\text{corpo negro}, ^\circ\text{K})} \quad (\text{I.20})$$

Sabendo-se que a emissividade espectral de um corpo é i gual à sua absorptância espectral ($\epsilon_\lambda = \alpha_\lambda$), e se o material possuir baixa transmitância espectral, pode-se escrever da equação (I.12) que:

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1 \quad \text{ou} \quad \epsilon_\lambda + \rho_\lambda = 1,$$

e, portanto:

$$\epsilon_\lambda = 1 - \rho_\lambda \quad (\text{I.21})$$

Vê-se, que os materiais com alta reflectância, como os metais, possuem baixa emissividade, p. e., a prata tem $\epsilon_\lambda = 0,04$ em $\lambda = 1\mu\text{m}$, $\epsilon_\lambda = 0,03$ para $\lambda = 5 \mu\text{m}$ e $\epsilon_\lambda = 0,01$ para $\lambda = 14\mu\text{m}$. Assim, um radiômetro infravermelho apontado para tal material e operando numa faixa em torno destes comprimentos de onda registrarã uma temperatura aparente bem inferior à sua temperatura real, devido à sua baixa emissividade. Se o alvo for uma superfície de água, cuja emissividade espectral vale $\epsilon_\lambda = 0,986$ na faixa do infravermelho, a sua temperatura real será bastante próxima de sua temperatura aparente.

1.2.5 - SENSORES

A REM refletida ou emitida por um alvo qualquer, desde que convenientemente registrada e analisada, contém uma grande quantidade de informação sobre o mesmo. Assim, a REM refletida ou emitida por um alvo, sob certas circunstâncias, após incidir sobre o olho humano pode ser transformada em impulso nervoso, que é interpretado pelo cérebro, gerando a sensação da visão. Entretanto, o olho humano é um sensor remoto capaz de responder a uma faixa extremamente estreita do espectro eletromagnético (aproximadamente de 400 a 700 nm). Para se notar este fato, basta que se sintonize um receptor de rádio ou televisão, a fim de observar-se que no mesmo ambiente há a presença de REM em faixas espectrais para as quais o olho humano é totalmente insensível.

Com o desenvolvimento tecnológico, o homem conseguiu ampliar a sua capacidade de "sentir" a REM, desde comprimentos de onda extremamente curtos (raios cósmicos) até comprimentos de onda de centenas de metros, construindo dispositivos sensores que operam em grande parte do espectro eletromagnético.

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

Convém ressaltar que a REM registrada por um sensor remoto não se deve, exclusivamente, à energia emitida ou refletida pelo alvo de interesse. Essencialmente, dois processos em geral ocorrem fazendo com que a energia do alvo esteja modificada quando atinge o sensor. Primeiro, todo sensor possui um campo de visada e uma resolução no terreno que pode incluir além do alvo de interesse, as vizinhanças do mesmo que também estão emitindo ou refletindo REM em direção ao sensor. Segundo, a atmosfera atua sobre a REM provinda do alvo, atenuando-a seletivamente e adicionando-lhe componentes geradas por retroespalhamento da luz solar.

Vê-se assim que, sempre que possível, a radiância aparente medida por um sensor deve ser corrigida para se obter a radiância inerente do alvo, a qual pode ser relacionada, com maior confiança, às propriedades do alvo.

Existem duas grandes categorias de sensores remotos: ativos e passivos. Os sensores ativos são aqueles que possuem fonte própria de energia, registrando a energia por eles emitida e refletida pelo alvo. Nesta categoria estão incluídos os radares e lasers, por exemplo. Os sensores passivos não possuem fonte própria de energia, utilizando apenas a energia emitida ou proveniente de outras fontes (p. e., o Sol) e refletida pelo alvo.

BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of remote sensing*. Falls Church, VA, 1975. v.1.
- CATO, G.A. Basic principles of Earth resource sensors. In: SHAHROKHI, F. ed. *Remote sensing of Earth resources*. Tullahoma, TN, University of Tennessee, c 1972. v.1, p. 64-80. Technical paper select from Conference on Earth Resources Observation and Information Analysis System.
- FLEAGLE, R.G.; BUSINGER, J.A. *An introduction to atmospheric physics*. New York, Academic, 1963. v.5.
- HOLZ, R.K. *The surveillant science; remote sensing of environment*. New York, Houghton Mifflin Company, 1973.
- KONDRATYEV, K.Y. *Radiation in the atmosphere*. New York, Academic, 1969.
- LINTZ Jr., J.; SIMONETT, D.S. *Remote sensing of environment*. Reading, MA, Addison Wesley, 1976.
- MCCARTNEY, E.J. *Optics of the atmosphere scattering by molecules and particles*. New York, John Wiley & Sons, 1976.
- NASA. GSFC. *Data users handbook*. Greenbelt, MD, 1976.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. *Remote sensing with special reference to agriculture and forestry*. Washington, D.C., 1970.
- REEVES, R.G, ed. *Introduction to eletromagnetic remote sensing with emphasis on applications to geology and hydrology*. Washington, AGI, c 1968. AGI short course lecture notes.

SILVA, L.F. Radiation and instrumentation in remote sensing. In: Purdue University. LARS. *Short course on remote sensing technology and application*. West Lafayette, IN, 1972.

SIMON, I. *Infrared radiation*. New York, Van Nostrand Momentum, 1966.

SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. *Remote sensing: the quantitative approach*. New York, McGraw-Hill, 1978.

TURNER, R.E. Atmospheric effects in remote sensing. In: SHAHROKHI, F. ed. *Remote sensing of Earth resources*. Tullahoma, TN, University of Tennessee, c 1973. v.2, p. 549-583. Technical paper select from Conference on Earth Resources Observation and Information Analysis System.

CAPÍTULO II

SENSORES E PRODUTOS

2.1 - RADIÔMETROS

São sensores capazes de medir a intensidade da energia radiante, proveniente de todos os pontos de uma superfície, dentro do seu campo de visada e numa faixa de comprimentos de onda especificado.

Com relação à forma do produto final, os radiômetros podem ser construídos de maneira a gerar imagens de uma cena ou simplesmente medir a radiância proveniente de um objeto para o qual estão apontados. Estes dois tipos de radiômetros são chamados, respectivamente, de radiômetros imageadores e não imageadores.

Um radiômetro consiste em quatro componentes básicas, como apresentado na Figura II.1.

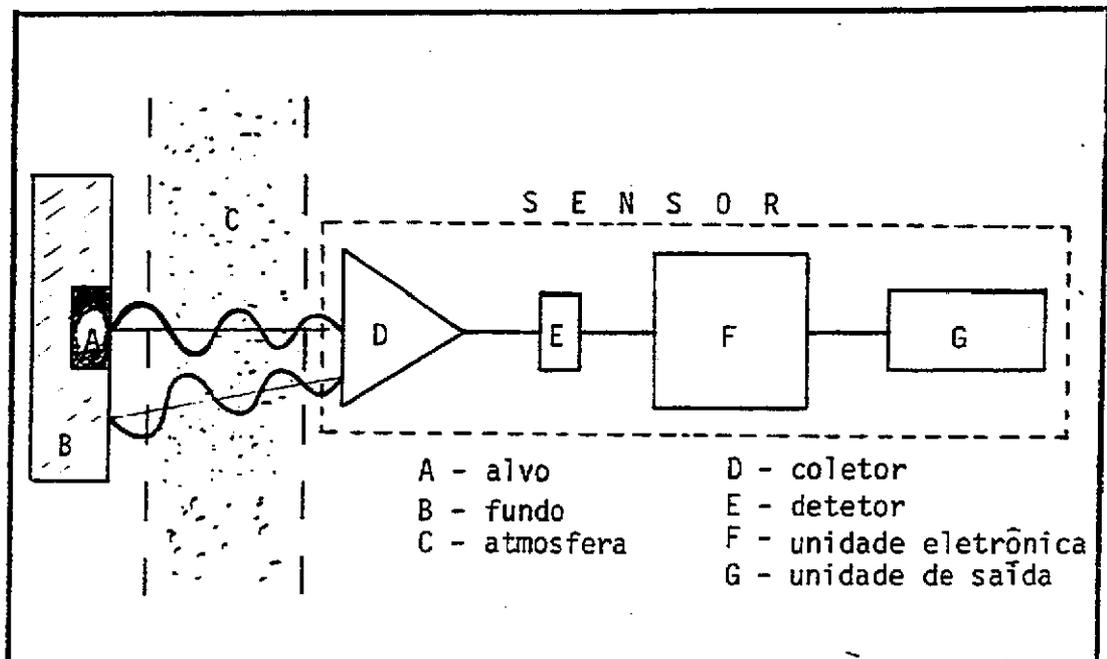


Fig. II.1 - Componentes básicas de um radiômetro.

A função do coletor é captar a energia radiante proveniente de um alvo, dentro do ângulo de visada fixo, e concentrá-la no detector.

A função do detector, num radiômetro, é converter uma dada quantidade de energia radiante sobre ele incidente, num sinal elétrico proporcional. De acordo com a finalidade para a qual vai se utilizar o radiômetro e com a faixa espectral a ser detectada, é muito importante a escolha do detector mais adequado, pois é neste componente que a sensibilidade global do sistema é estabelecida.

Existem dois tipos básicos de detectores: os termais e os quânticos. Os termais baseiam-se num aumento de temperatura por absorção de radiação, produzindo uma variação de alguma propriedade do material que pode ser monitorada eletricamente. Nesta categoria incluem-se os termopares e termopilhas. Os detectores quânticos baseiam-se na geração de portadores de cargas livres, produzidas por interação de fótons com a estrutura eletrônica do material do detector. Têm-se para este tipo de detector, os foto-tubos, foto-multiplicadores, foto-condutores e foto-diodos. Pelo fato dos detectores termais dependerem de um grau de número de fótons incidentes para produzirem uma modificação perceptível de sinal, e também de possuírem um tempo de resposta relativamente longo, sua sensibilidade, quando comparada aos detectores quânticos, é baixa.

Em geral, a sensibilidade dos detectores termais é completamente independente do comprimento de onda da radiação incidente, em oposição aos detectores quânticos, fortemente dependente do comprimento de onda.

Unidade Eletrônica, é geralmente composta de um processador de sinal usado para dar um formato adequado aos dados, um amplificador para aumentar o nível do sinal, uma unidade de potência e um painel de controle.

Unidade de saída, é constituída de um mostrador e/ou uma unidade de armazenamento dos dados.

Como apresentado na Figura II.2, o detetor de um sensor é colocado no plano focal do sistema ótico coletor. A distância focal (f) deste sistema e o diâmetro do detetor determinam a resolução angular (Ω), de abertura do sistema. A projeção do detetor pelo sistema ótico sobre o alvo determina o elemento de resolução no terreno. Note-se que a resolução angular (Ω) é uma propriedade inerente do sistema; e conseqüentemente, é fixa; ao passo que o elemento de resolução no terreno é função da resolução angular e da distância do sensor ao alvo. Assim, o sinal de resposta do radiômetro resulta de um processo de integração (média) das intensidades de radiação, provenientes de todos os pontos do alvo contidos no elemento de resolução do terreno.

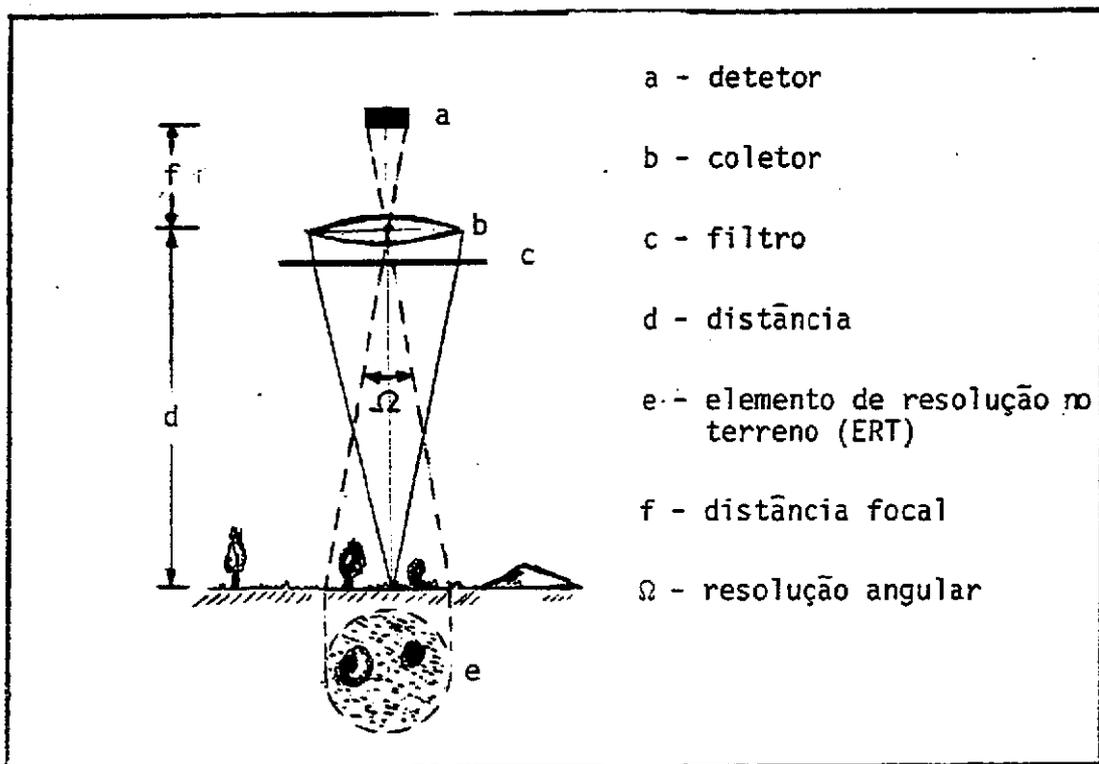


Fig. II.2 - Elementos formadores da resolução de um sistema sensor.

Pode-se limitar a radiação incidente sobre o detetor a apenas uma estreita faixa de comprimentos de onda de largura $\Delta\lambda$, usando para isto um dispositivo chamado filtro. Esta largura de faixa $\Delta\lambda$ determina a resolução espectral do radiômetro.

Se um radiômetro utiliza um filtro variável, deixando passar, a cada vez, radiação de comprimentos de onda diferentes, ele poderá ser utilizado para levantar a curva espectral da energia refletida ou emitida pelo alvo. A este tipo de radiômetro dá-se o nome de "espectro-radiômetro".

2.2 - SENSORES FOTOGRÁFICOS

Apesar do grande avanço ocorrido no desenvolvimento de sensores eletrônicos ("scanner", radar, televisão, etc...), cujas imagens, obtidas em ampla faixa do espectro, podem ser visualizadas em tempo real, digitalizadas e processadas automaticamente, os sistemas fotográficos continuam a ser uma ferramenta de indiscutível valor para a aquisição de dados em Sensoriamento Remoto.

Operados a partir de aeronaves e espaçonaves, os sistemas fotográficos têm permitido a obtenção de imagens da superfície da terra, com resolução espacial raramente igualada, por outros tipos de sensores. Considerando o fato de que fotografias são obtidas na região visível do espectro e suas proximidades, o seu conteúdo é de mais fácil interpretação, pois apresenta uma aparência mais natural com relação à forma, tamanho, cor, etc. dos objetos fotografados.

A câmara fotográfica, considerada de uma forma simplificada (Figura II.3), compreende um magazine protegido da luz exterior, onde o filme sensível é armazenado e posicionado para a exposição. Um sistema óptico, constituído de objetiva e filtro, é utilizado para projetar sobre a superfície do filme uma imagem espectralmente conveniente da cena fotografada. Um sistema obturador e um diafragma, determinam a duração e o brilho da imagem projetada sobre o filme.

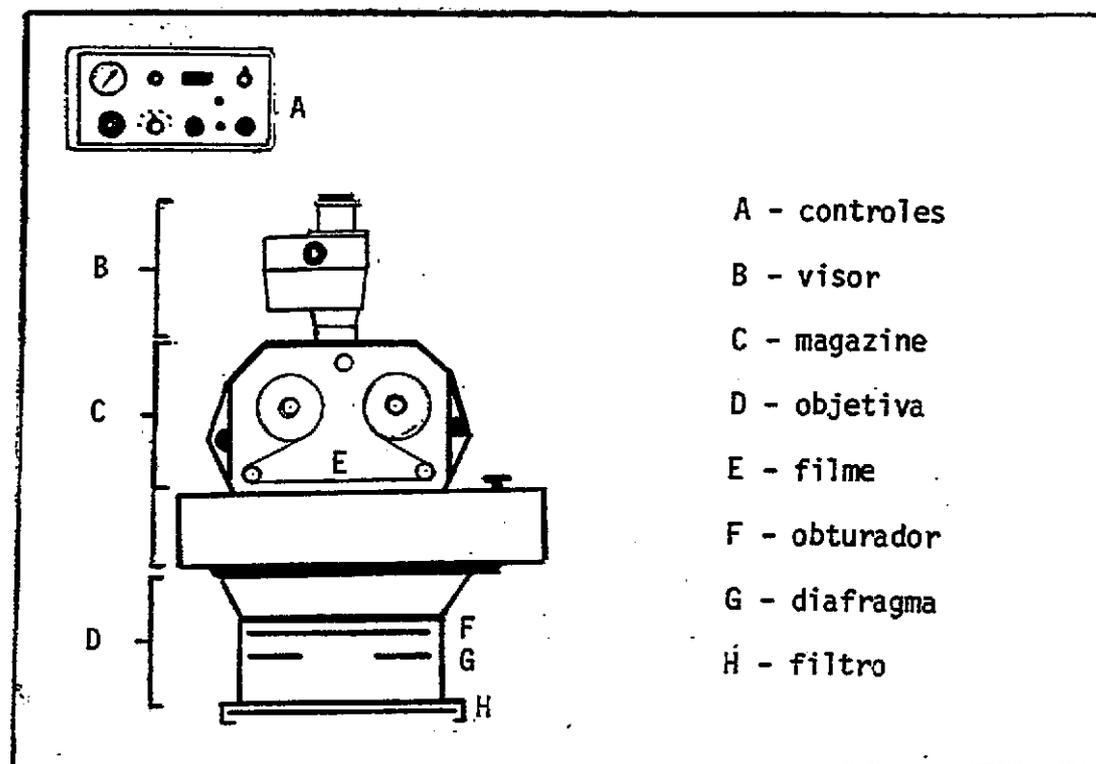


Fig. II.3 - Partes de uma câmara fotográfica aérea.

Partindo dessa configuração básica, diversas câmaras têm sido desenvolvidas e utilizadas em Sensoriamento Remoto, destacando-se:

- a) as câmaras métricas, cujas imagens, por sua precisão geométrica, permitem a construção de mapas planimétricos e topográficos da área fotografada; e
- b) os sistemas multiespectrais, que são conjuntos de câmaras munidas de filtros e filmes especiais, para a aquisição de fotografias nas faixas espectrais mais adequadas ao estudo dos alvos de interesse.

Os filmes fotográficos são detetores que respondem  quantidade de energia radiante ou exposio que recebem. A exposio (ϵ) sobre cada ponto do filme  dada por:

$$\epsilon = \frac{\pi N}{4f^*2} t \quad (\text{II.1})$$

onde N  a radiância dos correspondentes pontos da cena, f^*  o ndice do diafragma e t  a durao da exposio, regulada pelo obturador.

Após o processamento (revelao), a resposta do filme  exposio recebida  representada pela sua densidade ptica (D), definida por:

$$D = \log \frac{1}{\tau} \quad (\text{II.2})$$

onde τ  a transmitância do filme na posio considerada.

Uma maneira conveniente de representar a relao entre a densidade óptica e a exposio, para um determinado tipo de filme e processamento,  através de um gráfico como o da Figura II.4, denominada *curva característica*.

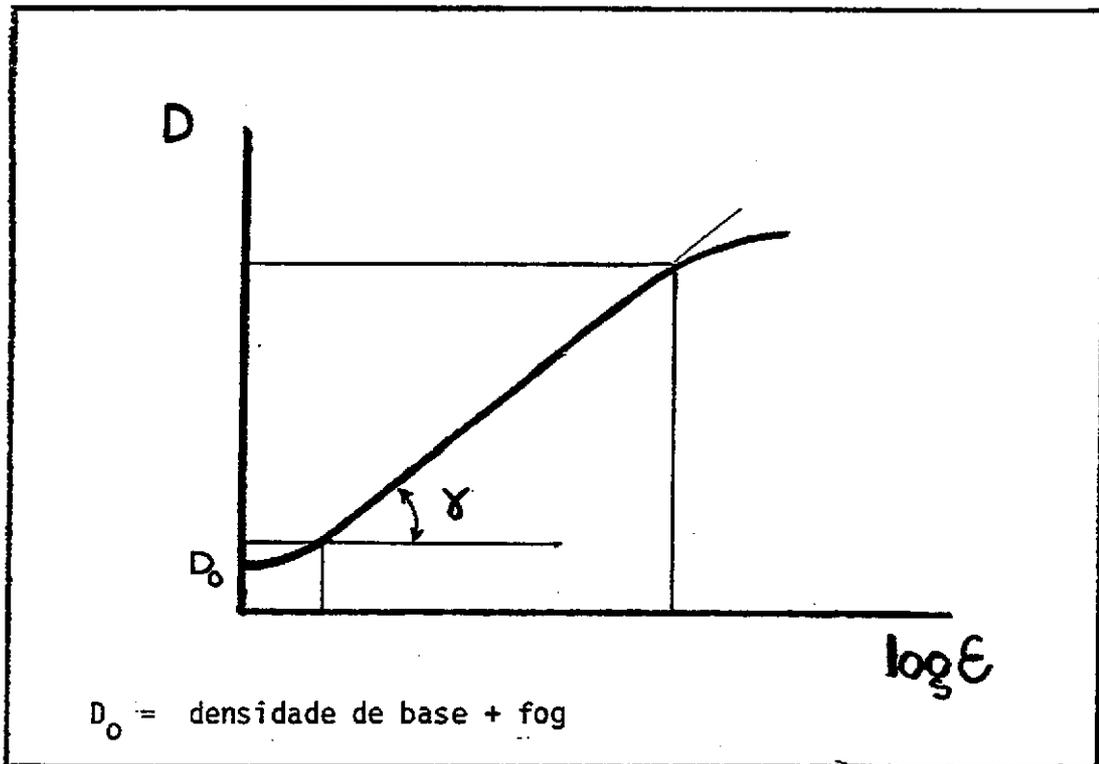


Fig. II.4 - Curva característica de um filme P&B.

A projeção da parte linear da curva característica so bre o eixo horizontal define um intervalo de exposições que o filme po de registrar sem deformações de contraste, enquanto a declividade da curva (gama do filme) indica se a transformação exposição-densidade se rá feita com perda ou ganho de contraste.

Um filme não responde da mesma forma a exposições espec tralmente diferentes; essa propriedade expressa pela *sensitividade es pectral* do filme é definida como o inverso da exposição (em erg/cm^2) necessária para produzir uma determinada densidade, ou seja:

$$S_{\lambda} = \frac{1}{\epsilon_{\lambda}} \quad (\text{para um dado valor de } D) \quad (\text{II.3})$$

A Figura II.5 mostra a curva de sensibilidade espectral de dois tipos de filmes (P&B) para o nível de densidade 1.

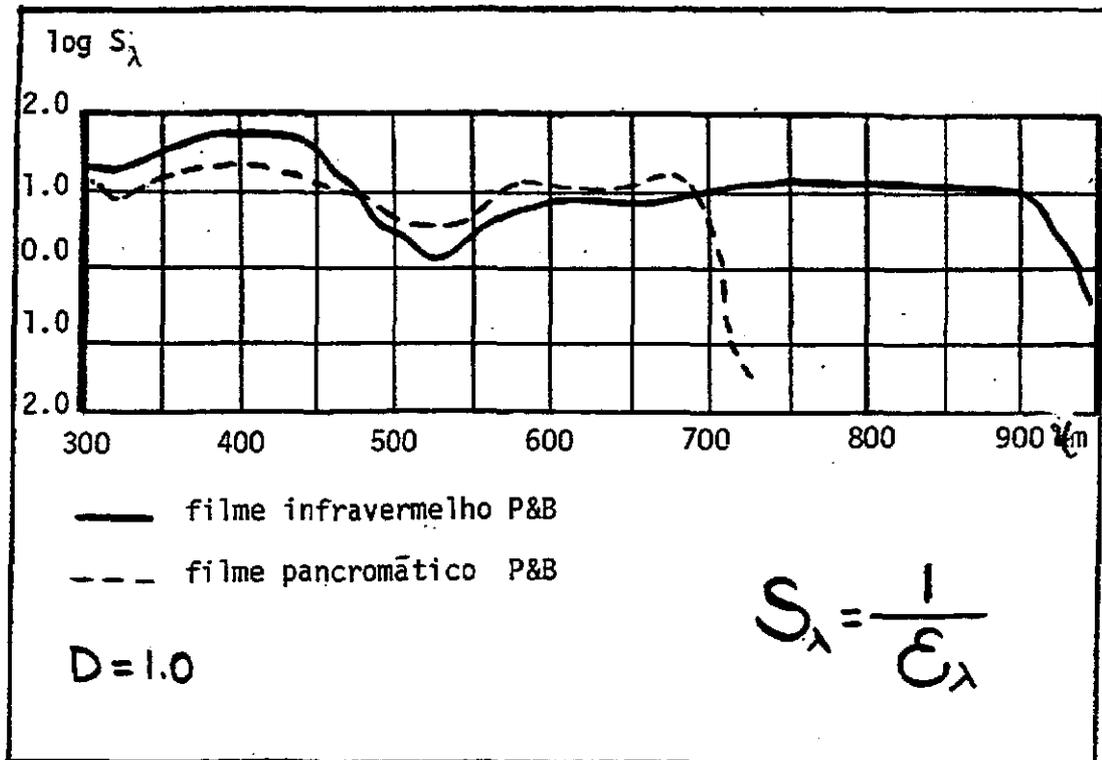


Fig. II.5 - Sensitividade espectral.

Atualmente, são produzidos filmes aéreos com sensibilidade espectral compreendida entre o ultravioleta (~250nm) e o infravermelho próximo (~900nm).

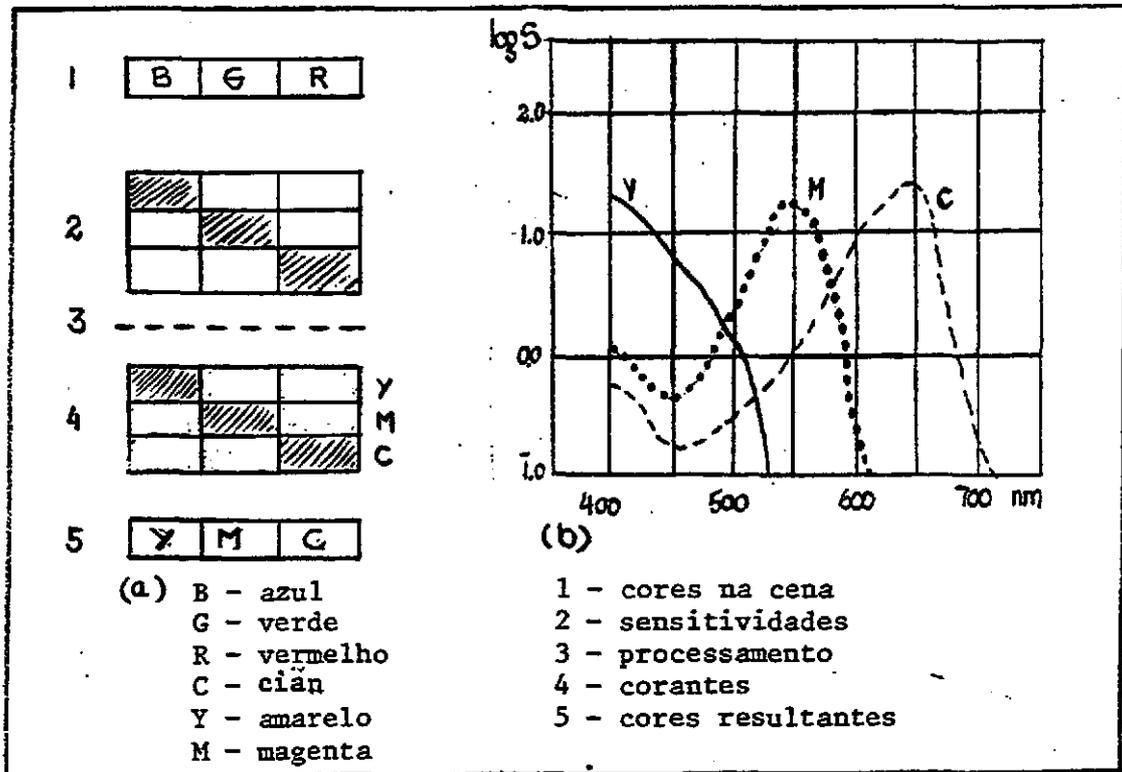
Considerada de forma integral, a sensibilidade de um filme costuma ser indicada pela sua rapidez. Valores de rapidez constituem um meio de comparar a sensibilidade de diferentes filmes e são também úteis na definição dos parâmetros de exposição f^* e t a serem ajustados na câmara. Por exemplo, os filmes aéreos fabricados pela Eastman Kodak Co. costumam ter a sua rapidez indicada por um valor denominado EAFS ("Effective Aerial Film Speed")

A eficiência de um filme em registrar pequenos detalhes da cena é indicada pela sua *resolução*.

Testes de resolução costumam ser feitos fotografando-se um painel contendo conjuntos de barras (pretas e brancas) de diversos tamanhos. O menor conjunto identificado permite calcular a resolução do filme em número de linhas (barras) por milímetro. A resolução que se consegue obter com um determinado filme depende de vários fatores, dentre os quais são importantes o contraste da cena e a rapidez do filme. Geralmente a resolução conseguida é maior para alvos de alto contraste, fotografados com filmes lentos.

Filmes preto e branco, após processados e copiados, representam, através de densidades ópticas (níveis de cinza), os diversos valores de radiância presentes na cena; filmes coloridos, acrescentam cor a essas densidades, de forma que a imagem obtida apresenta grande semelhança visual com a cena. Um filme colorido é construído com a utilização de três camadas de emulsões, cujas sensitividades se estendem às faixas espectrais correspondentes a três cores primárias: azul, verde e vermelho (Figura II.6a). Durante o processamento, a prata reduzida em cada emulsão é substituída por pigmentos coloridos, cuja cor é complementar da faixa espectral considerada (Figura II.6b). O resultado obtido é um negativo colorido da cena fotografada.

Na continuidade do processo, o negativo é copiado em material fotográfico (papel ou transparência) com as mesmas características básicas, ocorrendo então nova inversão de cor e densidade resultando em uma imagem de grande semelhança visual com a cena.

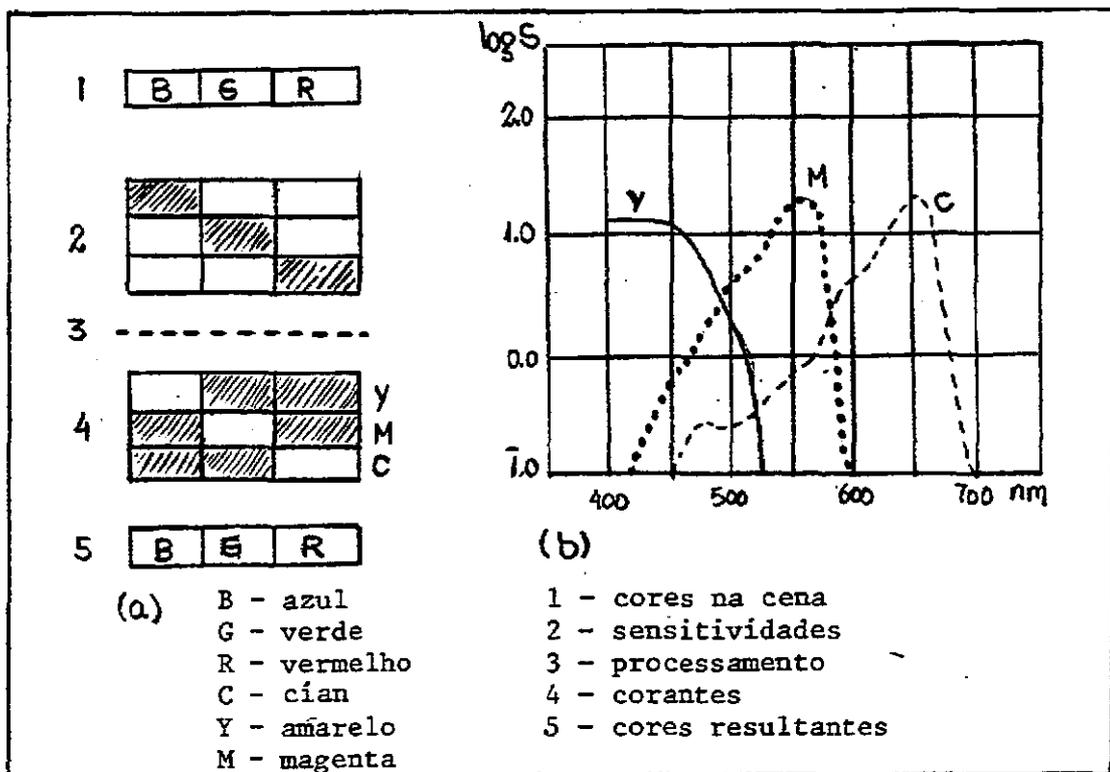


a) Formação das cores.

b) Curvas de Sensibilidade espectral

Fig. II.6 - Filme colorido negativo.

O resultado posterior também pode ser conseguido diretamente no filme utilizado para fotografar o alvo, quando este é do tipo reversível. Durante o processamento de um filme reversível, os haletos sensibilizados são reduzidos a prata e removidos do filme; os remanescentes são expostos novamente à luz branca, reduzidos e substituídos pelos pigmentos coloridos complementares das suas faixas espectrais de sensibilidade (Figura II.7 a e b). O resultado pode ser examinado por transparência ou projeção.

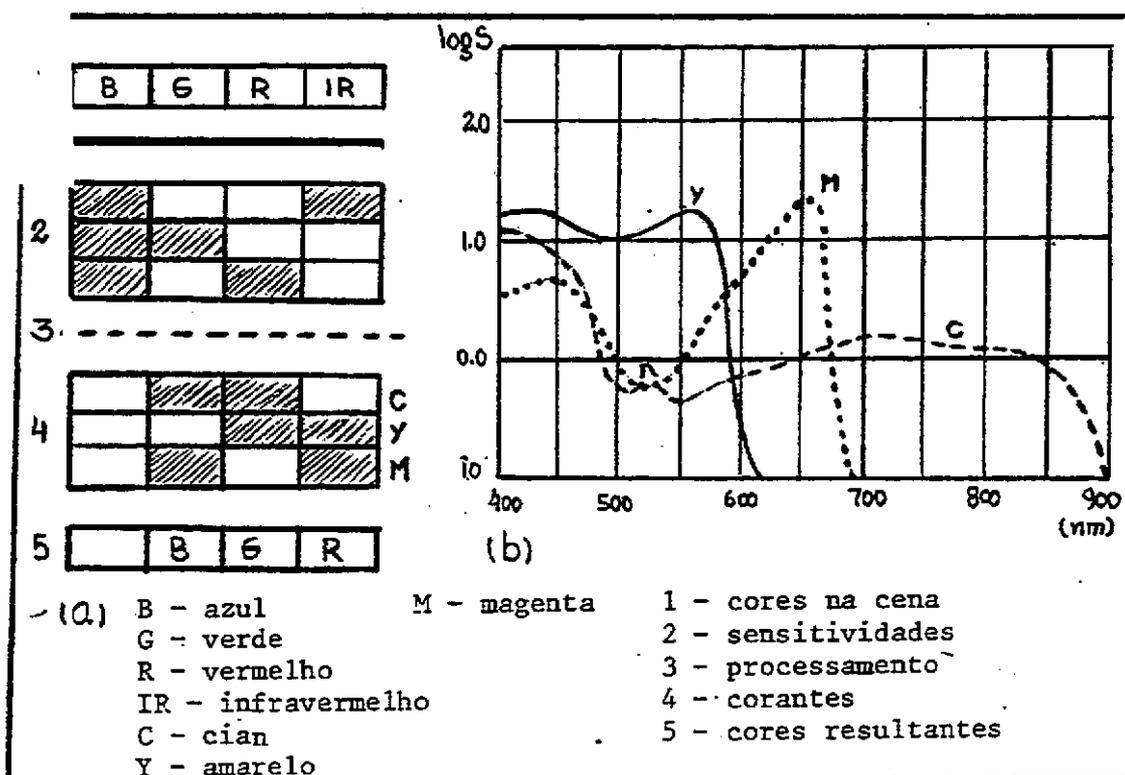


a) Formação das cores

b) Curvas de sensibilidade espectral

Fig. II.7 - Filme colorido reversível.

Outro tipo de filme reversível, de extensa utilização em sensoriamento remoto, é o infravermelho falsa-cor. Este filme é construído com três emulsões sensíveis ao verde, vermelho e infravermelho. Como as três emulsões são também sensíveis ao azul, um filtro amarelo (menos azul) é de utilização obrigatória para a exclusão dessa cor na tomada da foto. Durante o processamento, os pigmentos coloridos - azul, verde e vermelho - são associados às emulsões verde, vermelho e infravermelho, respectivamente. A Figura II.8 a e b mostra os resultados obtidos. Ainda que este tipo de filme não apresente semelhança visual, com respeito às cores da cena, a sua utilização em problemas onde a região espectral infravermelha (700 a 900nm) contenha informações significativas a respeito das propriedades do alvo, é de grande eficiência.



- a) Formação das cores
- b) Curvas de sensibilidade espectral

Fig. II.8 - Filme infravermelho falsa-cor.

A Tabela II.1 abaixo descreve alguns tipos de filmes a_ereos e suas características de maior importância.

TABELA II.1

FILME(1)	EATS(2)	RESOLUÇÃO (λ /mm)	TIPO
HIGH DEFINITION A.F	80	630/250(3)	PANCROMÁTICO/NEGATIVO
PLUS-X AEROGRAPHIC	200	100/50	PANCROMÁTICO/NEGATIVO
TRI-X AEROGRAPHIC	640	80/20	PANCROMÁTICO/NEGATIVO
INFRARED AEROGRAPHIC	200	80/32	INFRAVERMELHO P & B/NEGATIVO
AEROCROME INFRARED	40(4)	63/32	INFRAVERMELHO/FALSA-COR/ REVERSÍVEL
AEROCOLOR NEGATIVE	100	80/40	COLORIDO/NEGATIVO
EKTACHROME MS AEROGRAPHIC	32	80/40	COLORIDO/REVERSÍVEL

OBS: (1) Fabricados pela EASTMAN KODAK CO.

(2) Luz do dia, sem filtro.

(3) O primeiro número corresponde a um contraste de 100/1 e o segundo a 1,6/1.

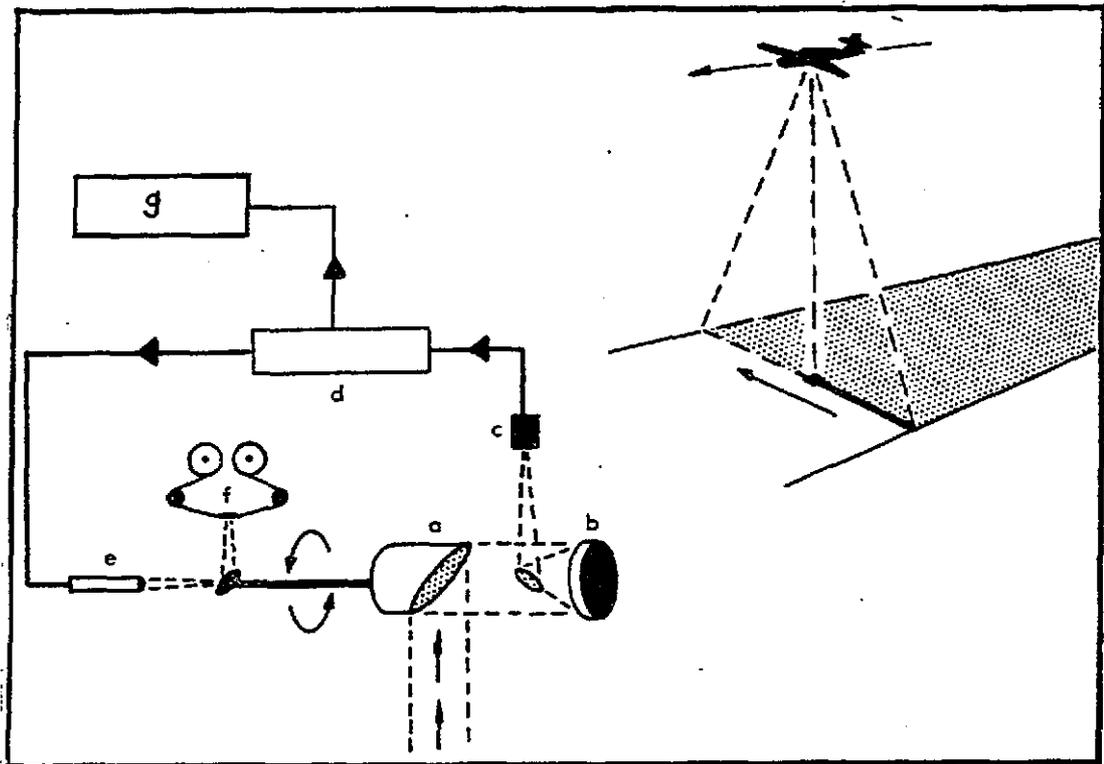
(4) Luz do dia e filtro Wratten 12 (amarelo).

2.3 - RADIÔMETRO IMAGEADOR (SCANNER)

Se, no caminho ótico do coletor de um radiômetro instalado a bordo de uma plataforma (avião, satélite, etc.), for colocado um espelho, que gira ou oscila na direção perpendicular ao deslocamento da plataforma, o elemento de resolução no terreno se deslocará, gerando uma linha de varredura. Se o movimento do espelho for sincronizado com a velocidade da plataforma, a cada rotação ou oscilação do espelho uma nova linha adjacente de varredura será gerada. Dessa forma, pode-se ter uma imagem do terreno situado abaixo da plataforma.

Na Figura II.9, apresenta-se o esquema de um radiômetro imageador. Neste caso, cada linha de varredura pode ser armazenada por um gravador de fita magnética ou gravada sobre um filme fotográfico. No caso da gravação sobre o filme, a energia radiante proveniente de cada elemento de resolução no terreno é convertida, através do detetor e do sistema de processamento eletrônico, num sinal elétrico que, por sua vez, modula a intensidade luminosa de uma pequena lâmpada. A luz dessa lâmpada varre o filme fotográfico por meio de um pequeno espelho, que gira fixo ao eixo do espelho principal. O deslocamento do filme é feito de tal forma que, a cada rotação ou oscilação do espelho, uma nova linha de varredura é, gravada sobre ele.

Na maioria dos radiômetros, a área do detetor define o campo instantâneo de visada (resolução) do sistema, e um filtro é colocado na trajetória da radiação para restringir esta radiação a um intervalo de comprimentos de onda escolhidos. Pode-se transformar um radiômetro imageador em multiespectral, isto é, capaz de observar a mesma cena em várias faixas espectrais, através de separadores de feixe (prismas, redes de difração, etc.). Desta forma, detetores separados, localizados num conjunto de detetores, observam o mesmo elemento de resolução da cena em diferentes faixas espectrais.



- a) Espelho giratório;
- b) Espelho parabólico;
- c) Detector;
- d) Módulo de processamento eletrônico;
- e) Lâmpada;
- f) Filme;
- g) Gravador de fita magnética.

Fig. II.9 - Radiômetro imageador.

2.4 - RADAR

O Radar é um sensor ativo que opera na faixa de rádio ou microondas. O termo "radar" é uma sigla proveniente de Radio Detection and Ranging, que poderia ser traduzido como Detecção e Localização por Ondas de Rádio.

O princípio básico de operação de um radar é a emissão de um sinal de rádio; este sinal é refletido por um objeto distante, retornando ao sensor onde é processado para extrair o tempo decorrido entre a emissão e recepção do sinal. Sabendo-se que o sinal se propaga a velocidade da luz c , a distância x de um objeto pode ser calculada por $x = ct/2$, onde t é o tempo decorrido entre a emissão e a recepção do sinal.

Na maioria dos radares, os pulsos são emitidos a frequências bastante altas, da ordem de 3 GHz (1 GHz = 10^9 Hz) possuindo cada pulso a duração da ordem de 10^{-6} segundos. Considerando-se que a radiação se propaga com velocidade de 3×10^8 m/seg no ar, para um objeto situado a 150 km de distância, o pulso retornará ao sistema em 1/1000 seg.; se o objeto estivesse a 150 m, este tempo seria reduzido para 10^{-6} segundos (1 microsegundo). Então, considerando-se dois objetos separados por uma distância inferior a 150 metros, na direção perpendicular à linha de vôo, para vê-los separados, é necessário medir intervalos de tempo menores que 10^{-6} segundos.

Uma das vantagens oferecidas pelo sistema radar é a de que, sendo um sensor ativo, pode operar à noite; porém a vantagem mais importante é a de poder ser operado praticamente sob qualquer condição atmosférica, pois a transmitância para a REM, nesta faixa de comprimentos de onda, mesmo em nuvens, é de quase 100%. O único fator meteorológico, capaz de influenciar fortemente o sinal de retorno do radar, é a chuva.

São descritos agora os componentes básicos de um sistema de radar imageador, conhecido como radar de visada lateral ou SLAR ("Side Looking Airborne Radar"). Neste tipo de radar, a aeronave carrega uma antena cuja dimensão longitudinal é coincidente com a direção de vôo. Esta antena tem a propriedade de emitir pulsos na direção normal à direção de vôo, os quais são dirigidos para um dos lados da aeronave (Figura II.10).

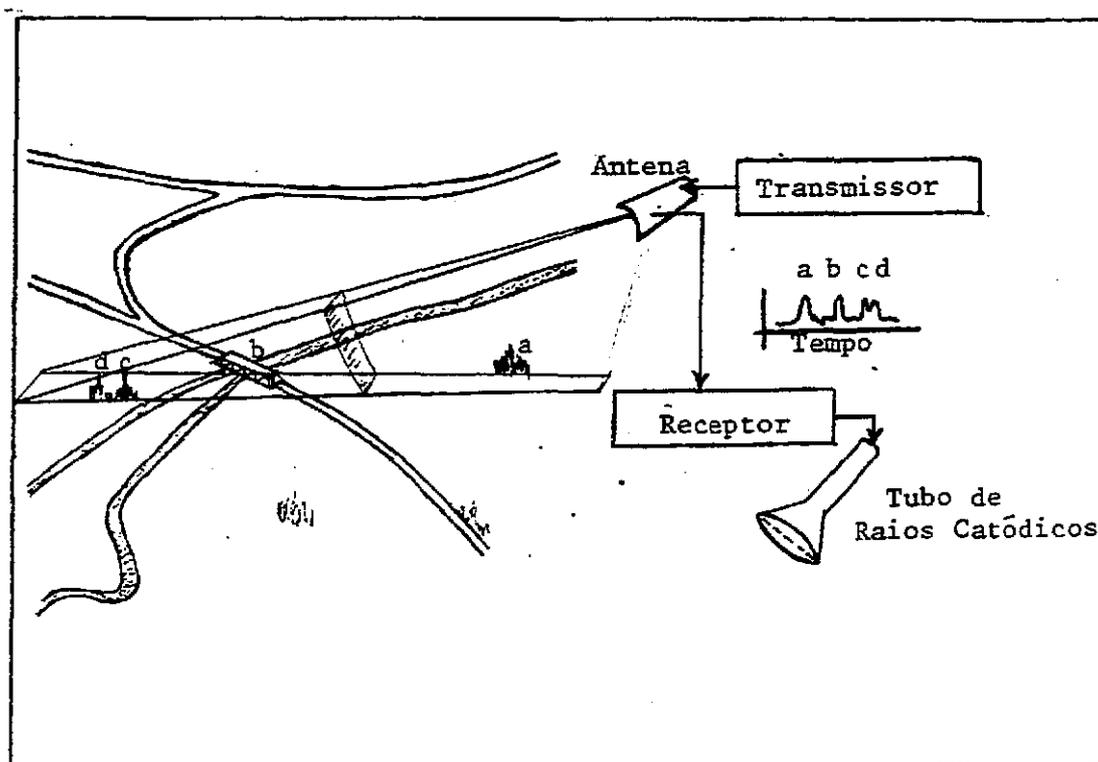


Fig. II.10 - Radar de Visada Lateral .

Devido à geometria do pulso, em cada emissão, uma extensa e estreita faixa no terreno normal à direção de vôo é iluminada pelo feixe de radar; os retornos de radar, produzidos por reflexão ou retro-espalhamento de alvos situados a diferentes distâncias do receptor, são separados no tempo quando registrados.

Um ponto luminoso de um tubo de raios catódicos sincronizado e modulado em intensidade oscila, produzindo uma linha de varredura em um filme que avança com uma velocidade de tal que, com o movimento da aeronave, cada linha de varredura corresponde a uma nova faixa imageada do terreno.

Para o SLAR podem-se definir duas resoluções: a longitudinal, determinada pela largura do feixe na direção de vôo; e a transversal, na direção de varredura. O elemento de resolução longitudinal é proporcional a λ/D , onde λ é o comprimento de onda e D é a dimensão da antena. Conclui-se então que se pode melhorar a resolução, aumentando a frequência da radiação ou o tamanho da antena. O aumento da antena fica limitado por fatores aerodinâmicos da aeronave, e o aumento da frequência diminui a transmitância atmosférica, afetando o sinal de retorno.

Como visto anteriormente, a resolução transversal depende essencialmente da precisão em cronometrar os tempos de retorno. Pode-se mostrar que, para pulsos de duração τ , dois elementos de superfície poderão ser resolvidos, se estiverem separados por uma distância maior que $C\tau/2$.

Seria interessante ressaltar que, ao contrário dos sistemas passivos, tem-se neste caso controle sobre vários parâmetros físicos envolvidos no imageamento. Pode-se, por exemplo, escolher o comprimento de onda, a frequência dos pulsos, a intensidade de cada pulso, o plano em que oscila o campo elétrico da onda eletromagnética (isto é, sua polarização), de modo a ressaltar certas características dos alvos que, de outra forma, não seriam percebidas.

Como pode ser notado pela Figura II.10, somente aqueles alvos que se apresentam rugosos a ponto de gerar um padrão de reflexão difusa ou retro-espalhamento, ou que não sendo rugosos, estão orientados normalmente ao feixe incidente, podem produzir um sinal de retorno. Deve-se entretanto levar em conta que, nestes comprimentos de onda, segundo o critério de Rayleigh, alguns objetos que na faixa do visível são considerados rugosos, na de radar se comportam especularmente. Por exemplo, paredes de tijolos, superfícies de concreto e pavimentação de asfalto se comportam desta forma quando iluminados pelo feixe de radar, isto é, refletem o feixe em alguma direção bem definida, em geral para longe da antena. Dessa forma, a menos que estejam orientadas normalmente ao feixe, se mostrarão escuras na imagem.

Corpos d'água, como por exemplo, lagos, rios e oceanos, aparecerão escuros numa imagem de radar, a menos que, por efeito de onda em suas superfícies se comportem rugosamente, espalhando luz em direção ao sensor. Vê-se assim que este tipo de sensor pode ser usado para o monitoramento do estado do mar, parâmetro de grande importância para a segurança de navegação.

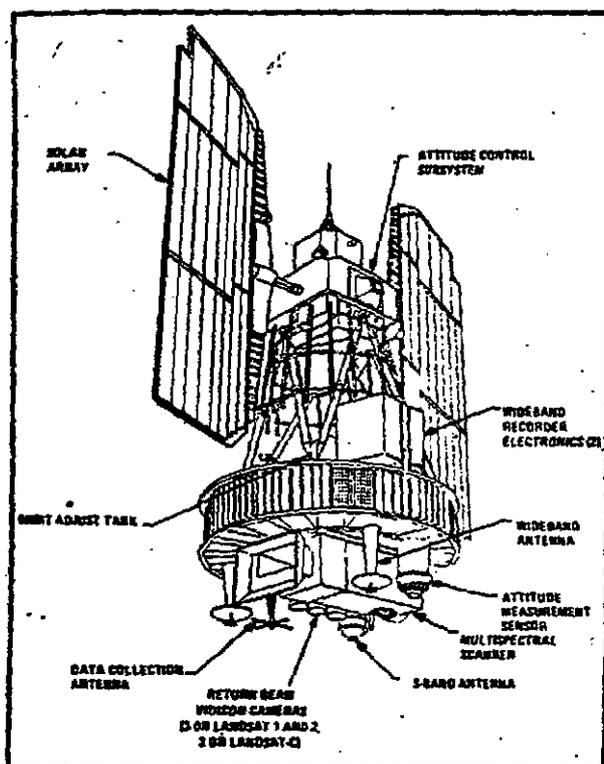
De maneira geral, bons condutores elétricos, tais como os metais, espalham mais fortemente as ondas de radar. Condutores moderadamente bons, tais como materiais naturais com umidade, espalham mais intensamente que os secos, maus condutores.

2.5 - O SISTEMA LANDSAT

O objetivo do sistema LANDSAT é permitir a aquisição repetitiva e de alta resolução de dados multiespectrais da superfície terrestre, em bases globais. Dois subsistemas sensores foram projetados e construídos com este propósito, nos satélites LANDSAT: um imageador multispectral de 4 canais, chamado subsistema MSS (5 canais a partir do LANDSAT C); e um subsistema de três câmaras de televisão

(duas no LANDSAT C) denominado RBV ("Return Beam Vidicon"). Os dados obtidos pelo sistema LANDSAT permitem então que medidas quantitativas de características de superfície da terra sejam feitas em bases espectrais, espaciais e temporais.

Além destes subsistemas, o satélite LANDSAT possui vários outros subsistemas que executam tarefas específicas, tais como controle de atitude, controle de temperatura, sistema de potência, ajustamento de órbita, gravação, processamento e transmissão dos dados obtidos para as estações de recepção na terra. A Figura II.11 apresenta a configuração básica do sistema LANDSAT.



(FONTE: NASA, 1976)

Fig. II.11 - Configuração do satélite LANDSAT .

CAPÍTULO I

PRINCÍPIOS FÍSICOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

1.1 - SENSORIAMENTO REMOTO - CONCEITO

Um fluxo de radiação eletromagnética ao se propagar pelo espaço pode interagir com superfícies ou objetos, sendo por estes refletido, absorvido e mesmo reemitido. As variações que essas interações produzem no fluxo considerado dependem fortemente das propriedades físico-químicas dos elementos irradiados e o fluxo resultante constitui uma valiosa fonte de informações a respeito daquelas superfícies ou objetos. Essa idéia básica tem motivado a criação de equipamentos, que situados a grandes distâncias de alvos naturais podem detectar e registrar o fluxo de Radiação Eletromagnética (REM) proveniente dos mesmos; as informações obtidas, geralmente sob a forma de gráficos ou imagens, são então analisadas por especialistas na busca de dados que os auxiliem no desenvolvimento de projetos de pesquisa e controle de recursos naturais.

A utilização de sistemas sensores em nível aéreo ou orbital permite a aquisição de imagens da superfície da Terra, de forma síncrona e mesmo repetitiva. Considerando-se que as propriedades dos alvos naturais se manifestam de forma característica no fluxo de REM que refletem ou emitem, tais imagens, quando obtidas em faixas espectrais adequadas, permitem que um máximo de discriminação entre os alvos e sua vizinhança seja conseguido e constituem um meio rápido, econômico e eficiente para a detecção dos mesmos na área analisada.

Dentro desse contexto pode-se conceituar Sensoriamento Remoto como um conjunto de atividades, cujo objetivo reside na caracterização das propriedades de alvos naturais, através da detecção, registro e análise do fluxo de energia radiante, refletido ou emitido pelos mesmos.

Os dados adquiridos pelos dois subsistemas (RBV e MSS) podem ser transmitidos diretamente para as estações de recepção em terra, quando o satélite se encontra dentro do raio de alcance dessas estações ou é gravado a bordo, de modo a ser posteriormente retransmitido para alguma estação terrestre.

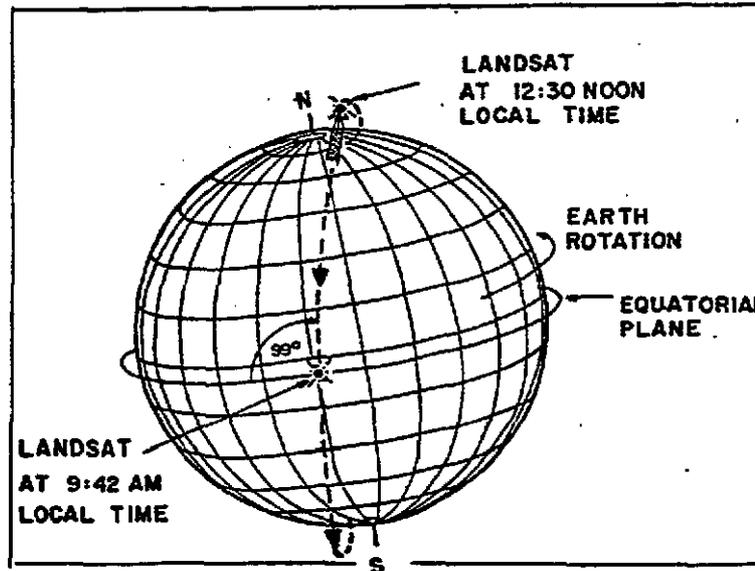
2.5.1 - ÓRBITA E COBERTURA

Com o objetivo de prover uma cobertura sistemática, repetitiva e sob condições de observação com iluminação praticamente constante, o sistema opera numa órbita circular, quase-polar, síncrona com o sol, a uma altitude de aproximadamente 920 km, como indicam as Figuras II.12 e II.13.

O satélite circunda a Terra a cada 103 minutos no sentido Norte-Sul na face iluminada, completando assim 14 órbitas por dia. A distância entre duas órbitas no equador é de 2760 km; no dia seguinte, cada órbita estará deslocada 159 km da correspondente do dia anterior. Assim, a cada 18 dias toda a Terra é recoberta, e um novo ciclo recomeça. Na Figura II.14, apresenta-se a configuração para um dia de cobertura.

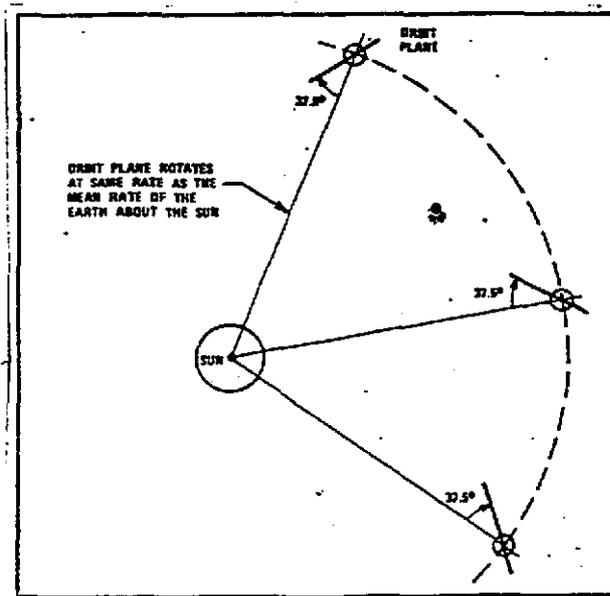
2.5.2 - SUBSISTEMA IMAGEADOR MULTIESPECTRAL

O subsistema MSS é um imageador multiespectral que usa um espelho oscilante, para varrer continuamente a superfície da Terra, numa direção perpendicular à direção de vôo (Figura II.15). Seis linhas são varridas simultaneamente em cada uma das quatro faixas espectrais para cada ciclo do espelho (5 faixas espectrais para o LANDSAT C). O movimento da espaçonave faz com que as linhas de varredura avancem na direção da trajetória.



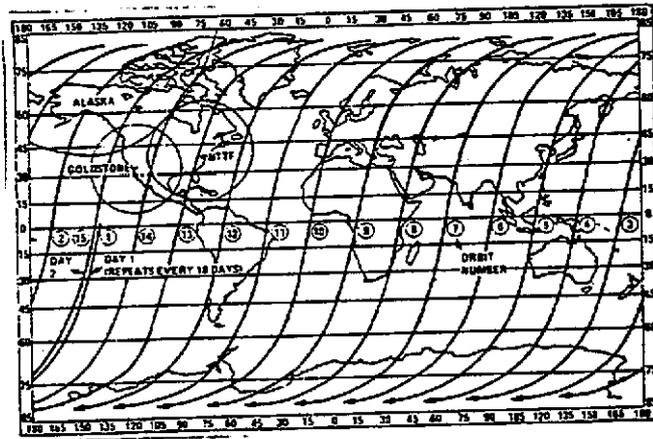
(FONTE: NASA, 1976)

Fig. II.12 - Inclinação da órbita do satélite LANDSAT para manter a órbita síncrona com o sol.



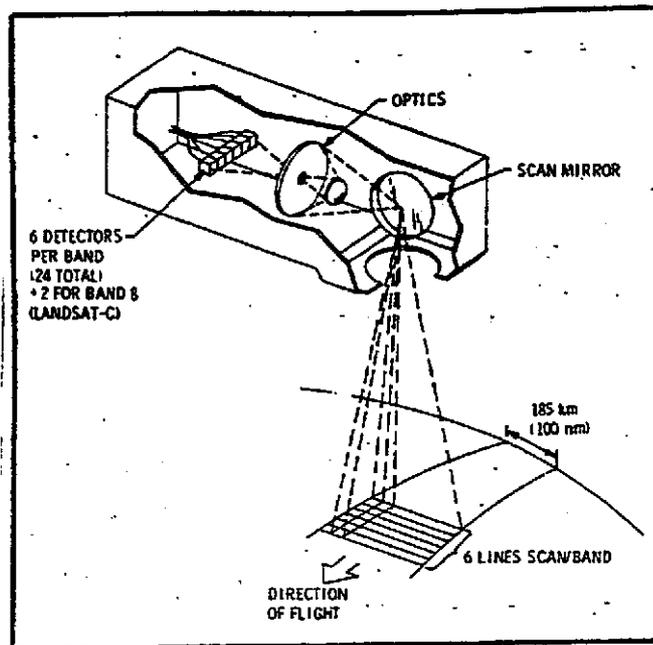
(FONTE: NASA, 1976)

Fig. II.13 - Esquema da órbita do satélite LANDSAT.



(FONTE: NASA, 1976)

Fig. II.14 - Órbitas do satélite LANDSAT para um dia de cobertura.

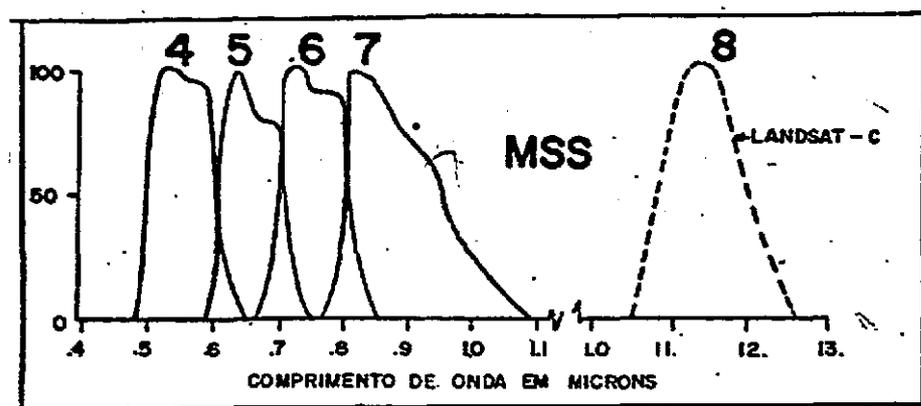


(FONTE: NASA, 1976)

Fig. II.15 - Esquema do imageador multispectral MSS.

A radiação é sentida, simultaneamente, por um conjunto de 6 detetores para cada uma das quatro faixas espectrais de 0,5 a 1,1 μm ; mais 2 detetores são usados no LANDSAT C para o canal termal. As faixas espectrais do MSS estão apresentadas na Figura II.16. As saídas dos detectores são amostradas para serem transmitidas, em forma digital, para a terra.

O sistema MSS dos satélites LANDSAT deteta radiação proveniente de uma área, na superfície terrestre, de 79 por 79 m (237 por 237 m para o canal termal do LANDSAT C); e os dados são formatados como se as medidas fossem feitas de uma área de 56 m na direção da linha de varredura por 79 m na direção da órbita (168 m x 237 m para o canal termal do LANDSAT C).



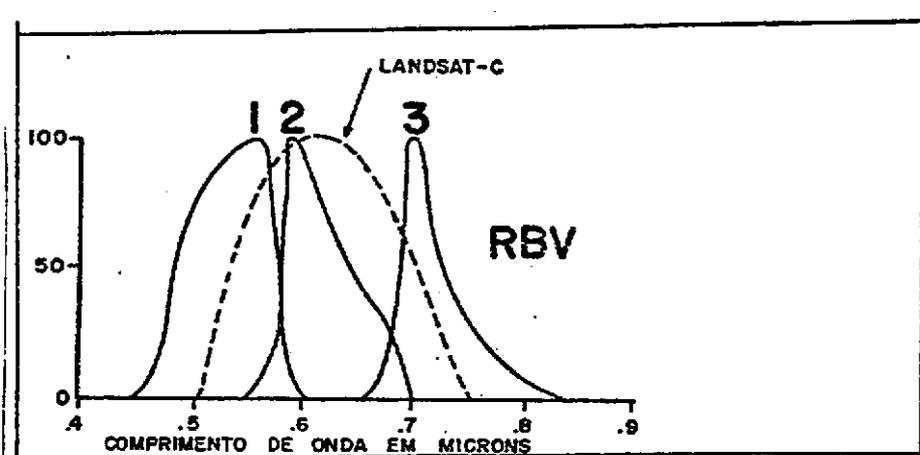
(FONTE: NASA, 1976)

Fig. II.16 - Faixas espectrais do sistema MSS dos satélites LANDSAT.

2.5.3 - SUBSISTEMA RBV

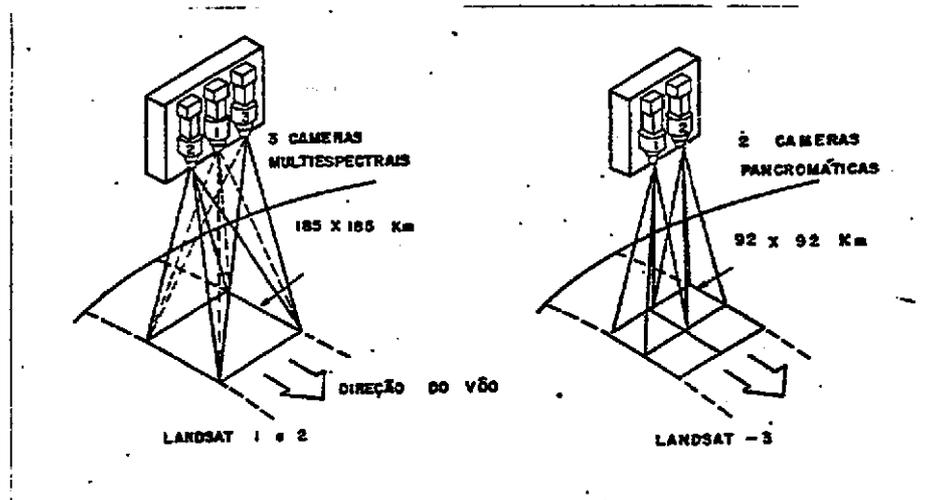
O subsistema RBV, utilizado nos satélites LANDSAT 1 e 2, possui 3 câmaras de televisão, que registram a radiação proveniente da terra em 3 canais (Figura II.17)

As 3 câmaras, dos satélites LANDSAT 1 e 2 imageavam a mesma área de 185 por 185 km a cada 25 seg, quando o Sistema era operado. Para o LANDSAT C, decidiu-se aumentar a resolução do Sistema RBV de 80 para 40m, e usar uma faixa espectral ampla (Figura II.17). A resolução do sistema RBV foi aumentada dobrando-se a distância focal do sistema óptico. Isto reduziu a cobertura na superfície a um quarto de área coberta por uma única câmara RBV, usada nos satélites LANDSAT 1 e 2. Duas câmaras são empregadas no LANDSAT C; elas têm uma taxa de operação dobrada, com o objetivo de obter a mesma cobertura de superfície do sistema RBV anterior, conforme se vê na Figura II.18.



(FONTE: NASA, 1976)

Fig. II.17 - Faixas espectrais do sistema RBV .



(FONTE: NASA, 1976)

Fig. II.18 - Sistema RBV dos satélites LANDSAT.

A seguir descrevem-se, resumidamente, algumas características do sistema LANDSAT.

2.5.4 - ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA LANDSAT

1. Gerais

- a) lançamentos: LANDSAT 1 - 1972 (desativado em 1978)
LANDSAT 2 - 1975 (ativo MSS)
LANDSAT 3 - 1978 (ativo RBV)
LANDSAT D - 1981 (previsto)
- b) dimensões: 3,0 m de altura
1,5 m de diâmetro (4,0 m com os painéis solares abertos)
- c) peso: 960 kg

2. Orbitais

- a) órbita geocêntrica, circular, quase-polar, síncrona com o Sol;
- b) altitude: 918 km;
- c) período: 103 min;
- d) inclinação com o equador: 99°;
- e) reciclagem: 18 dias (251 órbitas);
- f) distância equatorial entre 2 órbitas adjacentes: 159 km;
- g) distância equatorial entre 2 órbitas sucessivas: 2760 km;
- h) atitude: $\pm 1,0^\circ$ para os três eixos;
- i) sentido de deslocamento (parte iluminada): Norte-Sul;
- j) velocidade do ponto nadir: 6,46 km/s;
- l) número de órbitas por dia: 14.

3. Imageador Multiespectral (MSS)

a) MSS (Multispectral Scanner System): subsistema gerador de i magens por varredura transversal (espelho oscilante) ao des locamento do satélite;

b) canais/resolução espectral

MSS 4 : 0,5 - 0,6 μm

MSS 5 : 0,6 - 0,7 μm

MSS 6 : 0,7 - 0,8 μm

MSS 7 : 0,8 - 1,1 μm

LANDSAT 1, 2, 3

MSS 8 : 10,4 - 12,6 μm

LANDSAT 3

c) varredura na superfície: 185 km;

d) varredura (angular): $\pm 5,8^\circ$;

e) sentido de varredura (ativa): leste-oeste;

f) resolução na superfície: 80 m x 80 m (MSS 4, 5, 6, 7)
240 m x 240 m (MSS 8);

g) detetores: MSS 4, 5, 6 - fotomultiplicadores (6 detetores/
canal

MSS 7 - fotodiodos (6 detetores)

MSS 8 - TCM (2 detetores);

h) semi-período de varredura: 36,7 ms;

i) período ativo de amostragem: 33,0 ms;

j) intervalo de amostragem por detetor: 9,95 μs (MSS 4, 5, 6,
7);

k) número de amostragens por varredura: 3300;

- l) quantização: 0 a 63 níveis (0 a 4 V);
- m) resolução na imagem (pixel): 56 m x 79 m;
- n) formato na imagem: 2340 linhas (6 detetores x 390 oscilações/imagem) x 3240 colunas (pixel);
- o) superposição lateral/longitudinal: 14%.

4. Subsistema RBV

- a) RBV (Return Beam Vidicon): sistema de televisão para a aquisição de imagens multiespectrais em 3 canais (pancromático no LANDSAT-3);
- b) canais/resolução espectral
 - RBV 1 : (475 - 575 nm)
 - RBV 2 : (580 - 680 nm) LANDSAT 1, 2
 - RBV 3 : (690 - 830 nm)

 - RBV : (505 - 750nm) LANDSAT 3;
- c) objetivas: (3) / 126,0 mm (L1, L2)
 (2) / 236,0 mm (L3);
- d) intervalo de aquisição: 25 s (L1, L2)
 : 12,5 s (L3);
- e) tempo de exposição: 5,6 ms (ajustável);
- f) área imageada : 185 km x 185 km (L1, L2)
 98 km x 98 km (L3);
- g) recobrimento lateral/longitudinal: 22 km (L1, L2)
 14 km (L3);
- h) resolução: 80 m x 80 m (L1, L2)
 40 m x 40 m (L3)

5. Sistema LANDSAT/INPE

- a) formato e anotação da imagem MSS
- b) produtos fotográficos LANDSAT

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of remote sensing*. Falls Church, VA, 1975, V.1.

CATO, G.A. Basic principles of Earth resource sensors. In: SHAHROKHI, F. ed. *Remote sensing of Earth resources*. Tullahoma, TN, University of Tennessee, c 1972, V.1, p. 64-80. Technical paper select from Conference on Earth Resources Observation and Information Analysis System.

FLEAGLE, R.G.; BUSINGER, J.A. *An introduction to atmospheric physics*. New York, Academic, 1963. V.5.

HOLZ, R.K. *The surveillant science; remote sensing of environment*. New York, Houghton Mifflin Company, 1973.

KONDRATYEV, K.Y. *Radiation in the atmosphere*. New York, Academic, 1969.

LINTZ Jr., J.; SIMONETT, D.S. *Remote sensing of environment*. Reading, MA, Addison Wesley, 1976.

MCCARTNEY, E.J. *Optics of the atmosphere scattering by molecules and particles*. New York, John Wiley & Sons, 1976.

NASA. GSFC. *Data users habdbook*. Greenbelt, MD. 1976.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. *Remote sensing with special reference to agriculture and forestry*. Washington, D.C., 1970.

REEVES, R.G., ed. *Introduction to eletromagnetic remote sensing with emphasis on applications to geology and hydrology*. Washington, AGI, c. 1968. AGI short course lecture notes.

- SILVA, L.F. Radiation and instrumentation in remote sensing. In: Purdue University. LARS. *Short cours on remote sensing technology and aplicattion*. West Lafayette, IN, 1972.
- SIMON, I. *Infrared radiation*. New York, Van Nostrand Momentum, 1966.
- SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. *Remote sensing: the quantitative approach*. New York, McGraw-Hill, 1968.
- TURNER, R.E. Atmospheric effects in remote sensing. In: SHAHROKHI, F. ed. *Remote sensing of Earth resources*. Tullahoma, TN, University of Tennessee, c 1973. V.2, p. 549.583. Technical paper select from Conference on Earth Resources Observation and Information Analysis System.

CAPÍTULO III

ELEMENTOS DE FOTOGRAMETRIA E CARTOGRAFIA

3.1 - ELEMENTOS DE FOTOGRAMETRIA

3.1.1 - VISÃO BINOCULAR

Quando se observam os objetos, tem-se a sensação de que vêm-se os afastamentos que existem entre eles; entretanto se esta observação é feita somente com um olho, a sensação é falsa, por decorrência do hábito, função dos efeitos de sombra, provocado pelo desaparecimento total ou parcial de outros objetos situados no mesmo plano imagem (Figura III.1).

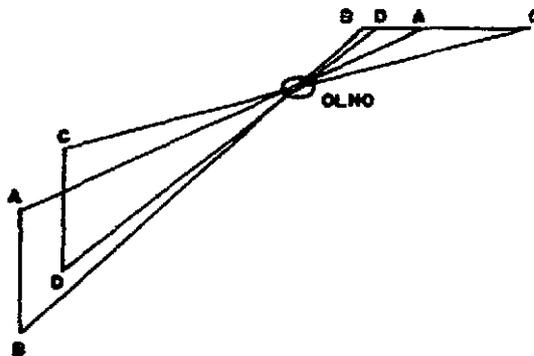


Fig. III.1

A visão tridimensional só é conseguida com o uso do dois olhos: assim cada olho recebe uma imagem diferente do mesmo objeto e as transmite ao cérebro, que os funde em uma única imagem, permitindo a sensação tridimensional real (Figura III.2).

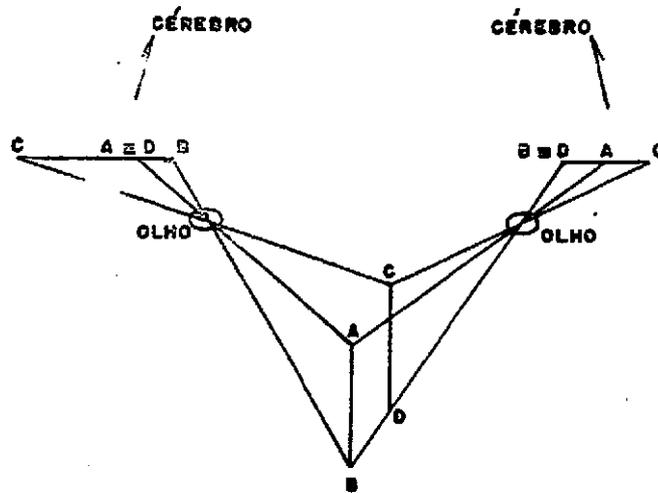


Fig. III.2

3.1.2 - CONVERGÊNCIA E PARALAXE E ESTEREOSCÓPIA

Ao se observar um objeto com os dois olhos, de uma certa distância, o que se está fazendo é convergir a visão para este objeto, acomodando-a para esta distância.

Veja Figura III.3.

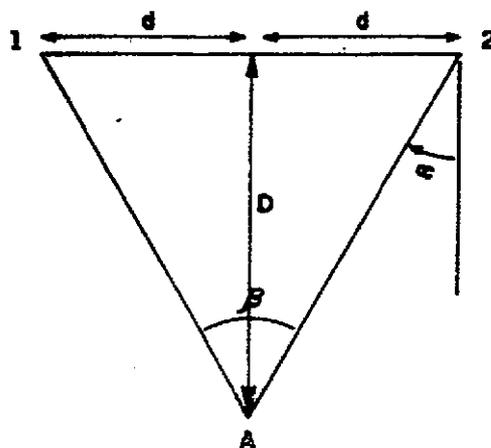


Fig. III.3

onde:

$2d$ = distância interpupilar

D = distância do objeto

α = ângulo de convergência

chame-se β o ângulo paralático, i é, o ângulo segundo o qual, do objeto, se vê a distância interpupilar:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{2d}{D}$$

tome-se, agora, um segmento \overline{AB} , onde a paralaxe em B será chamada β_1 (Figura III.4).

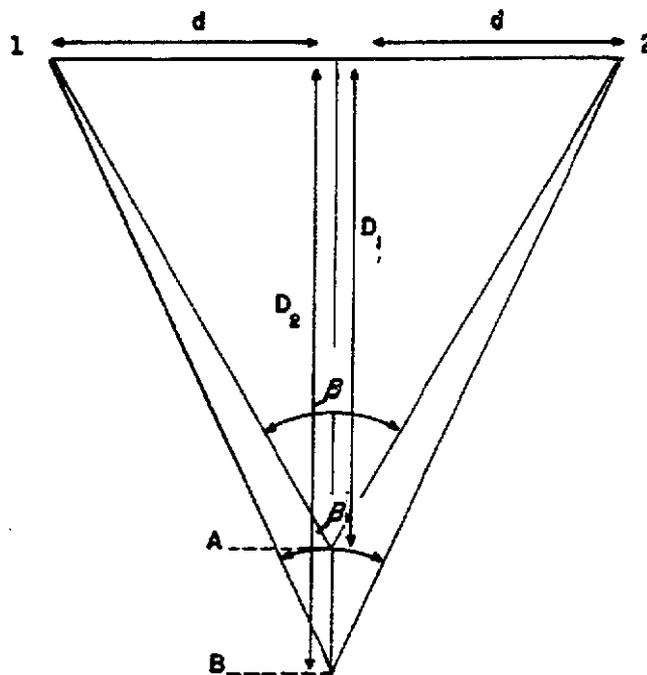


Fig. III.4

onde:

A diferença $(\beta - \beta_1)$ dá a noção de profundidade, isto é a diferença de paralaxe ou *paralaxe diferencial*.

Considere-se D_1 extremamente grande e $D_2 - D_1$ tão pequeno que se possa escrever:

$$\begin{cases} D_1 = D_2 = D \\ D_2 - D_1 = \varepsilon \end{cases}$$

$$\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \beta_1 = \frac{2d}{D_1} - \frac{2d}{D_2}$$

$$\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \beta_1 = 2d \frac{\varepsilon}{D^2}$$

com a diferença entre β e β_1 também é bastante pequena poder-se-á escrever:

$$\beta - \beta_1 = 2d \frac{\varepsilon}{D^2} = \theta = 2d \frac{\varepsilon}{D^2}$$

Como o que interessa é ε (profundidade) escrever-se-á

$$\varepsilon = \frac{\theta \cdot D^2}{2d}$$

Onde θ é conhecido como paralaxe diferencial e $2d$ a distância interpupilar.

A paralaxe linear é definida como sendo as diferentes posições ocupadas pela imagem, de um ponto objeto, quando se observa este ponto com cada olho.

A paralaxe estereoscópica também é assim definida, entre tanto, o deslocamento ou diferença de posição da mesma imagem é verifi cada em duas fotos subsequentes (veja as Figuras III.5, III.6 e III.7).

3.1.2.1 - FÓRMULA DA PARALAXE

- Cálculo do Desnível Δh entre 2 pontos

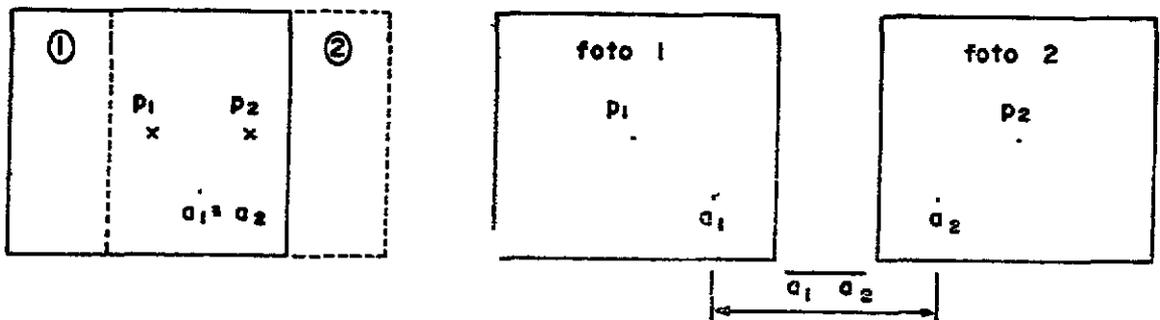


Fig. III.5

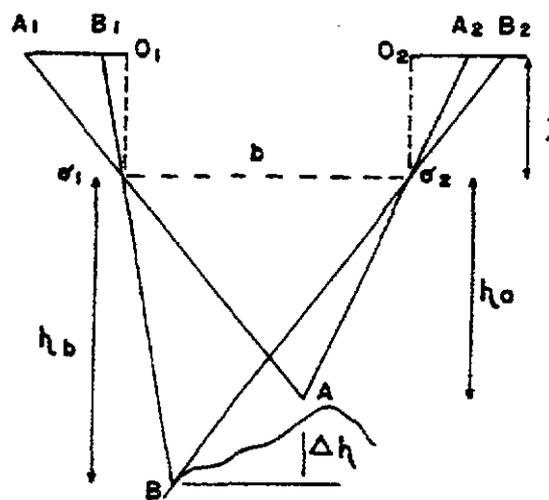


Fig. III.6

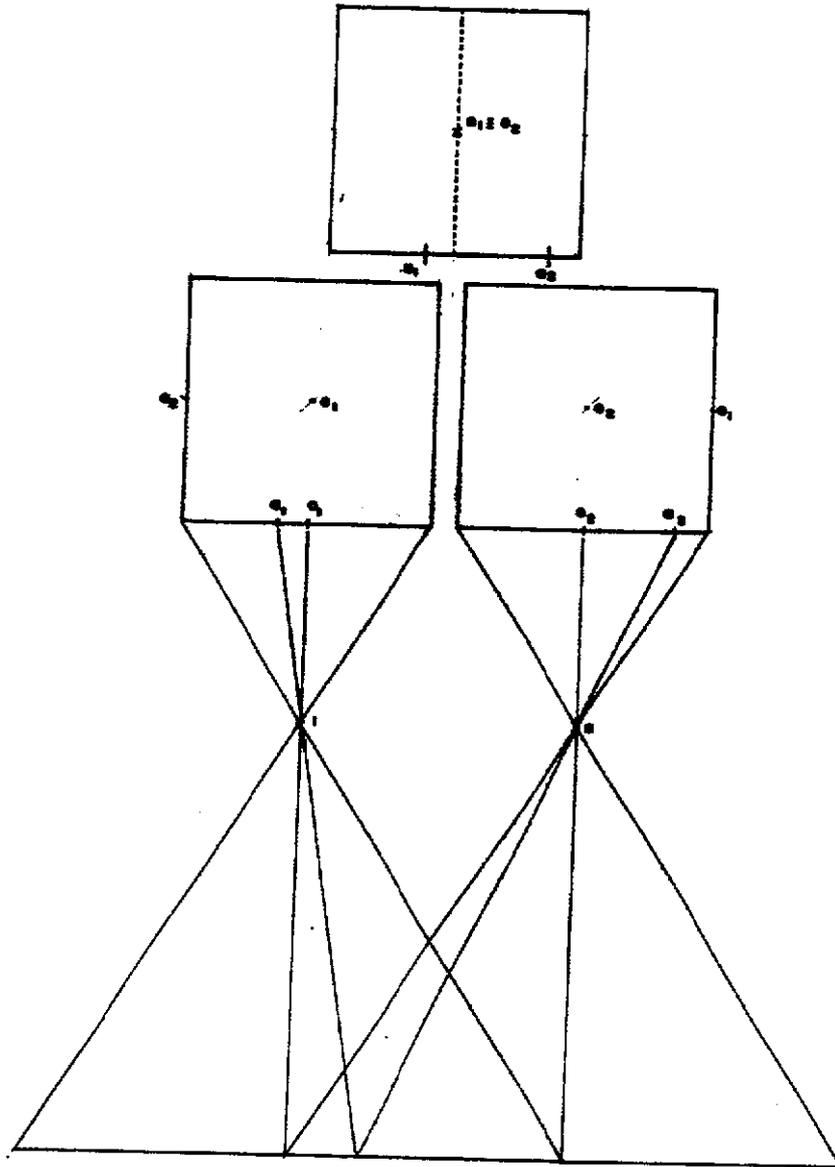


Fig. III.7

Observando as semelhanças de triângulo na Figura III.6 poder-se-á es
crever:

$$\frac{ha}{b} = \frac{f}{Pa} \quad e \quad \frac{hb}{b} = \frac{f}{Pb}$$

donde:

$$ha = \frac{b.f}{Pa} \quad e \quad hb = \frac{b.f}{Pb}$$

pela Figura III.6 vê-se que $hb - ha = \Delta h$, daí pode-se escrever o seguin
te:

$$hb - ha = \frac{f.b}{Pb} - \frac{f.b}{Pa}$$

$$\Delta h = \frac{fb (Pa - Pb)}{Pa.Pb} \quad (2)$$

A fim de se eliminar (f) e (b), distância focal e aeroba
se, respectivamente, faça-se:

$$Pa - Pb = \Delta P$$

$$Pa . Pb = Pa(Pa + \Delta P) \quad e \text{ substitua-se em (2)}$$

$$\Delta h = \frac{fb (Pa - Pb)}{Pa (-Pa + \Delta P)}$$

onde $\frac{fb}{Pa} = ha$, daí

$$\Delta h = \frac{ha}{Pa + \Delta P} \cdot \Delta P$$

3.1.2.2 - RELAÇÃO b/z

Chama-se relação b/z a razão entre o aero base (*distância entre os centro de duas aerofotos consecutivas*) e a altura de vôo. Para que se possa observar um modelo estereoscópico, a razão b/z deverá ter valor m̃nimo fixado em 0.25, que corresponde a 64 mm de distância interpupilar e 250 mm de acomodação (distância m̃nima de focalização).

Quando, entretanto, varia-se o valor de b/z para valores superiores, tem-se a impressão de exagero no relevo, denominado exagero vertical. Quando ocorrer o inverso, i.e, o valor de b/z assumir valores menores, tem-se um achatamento do relevo.

$$Ev = \text{exagero vertical} \therefore \text{onde } Ev = \frac{b}{z}$$

$$Ev = \frac{\text{escala vertical de foto}}{\text{escala horizontal de foto}}$$

3.1.3 - CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DOS FOTOGRAMAS

A fotografia é uma projeção central onde as imagens são formadas por raios de projeção tomando como centro de projeção (centro de perspectiva) a objetiva.

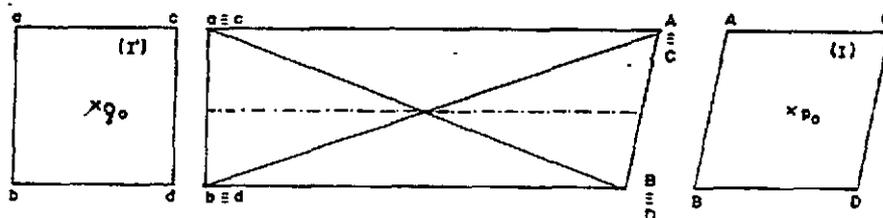


Fig. III.8

Devido à projeção, a fotografia aérea define 3 pontos principais:

p_1 - ponto principal

p_3 - ponto nadiral

p_2 - isocentro

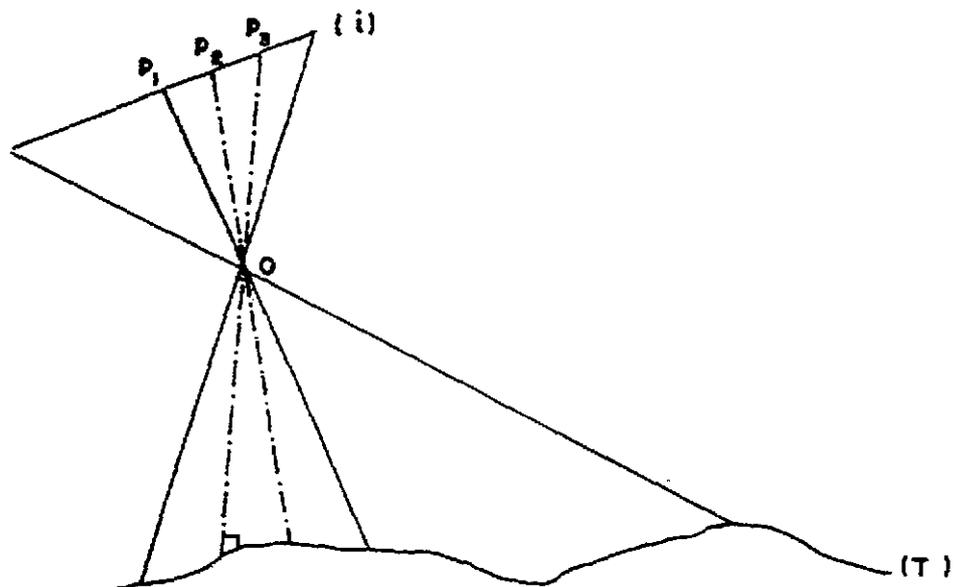


Fig. III.9 .

1. Ponto principal - Projeção do centro perspectivo ortogonalmente sobre o plano imagem. É também definido pelo cruzamento das linhas traçadas através das marcas fiduciais.
2. Ponto nadiral - É definido pela interseção da vertical que passa pelo centro perspectivo (objetiva) e intercepta o terreno ortogonalmente. Neste ponto, não existe, na foto, deslocamento de relevo.
3. Isocentro. É o ponto definido pela bissetriz do ângulo p_3Op_1 . Neste ponto, não existe deslocamento devido à inclinação de câmara.

3.1.3.1 - DESLOCAMENTO DEVIDO AO RELEVO

$$r'' - r' = \Delta r \rightarrow \text{deslocamento devido a relevo}$$

$$\overline{ab} = dr$$

$$\overline{ac} = R$$

$$\frac{dr}{R} = \frac{\Delta h}{Z} = \frac{r'' - r'}{r'}$$

$$\frac{dr}{R} = \frac{\Delta h}{Z} = \frac{\Delta r}{r'}$$

$$\Delta r = \frac{\Delta h \cdot r'}{Z} \quad \text{ou} \quad \Delta r = \frac{\Delta h \cdot r'}{f.e} \quad (\text{denomin. escala})$$

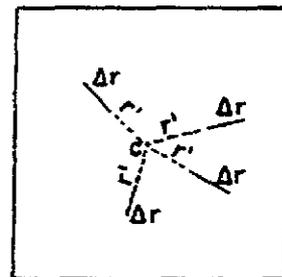
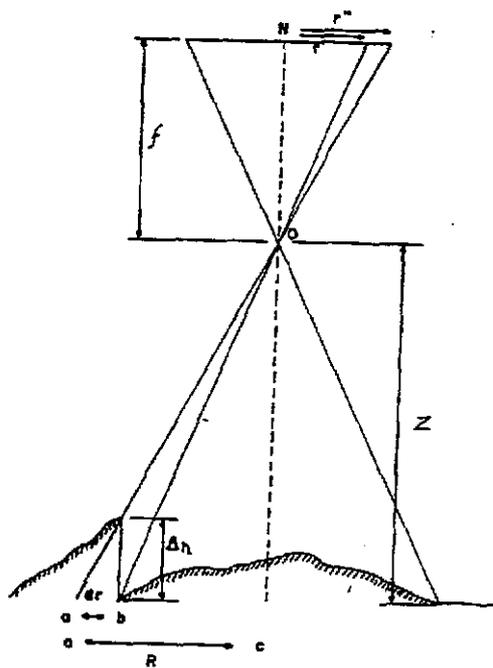


Fig. III.10

3.1.3.2 - DESLOCAMENTO DEVIDO ÀS VARIÇÕES DE ALTURA

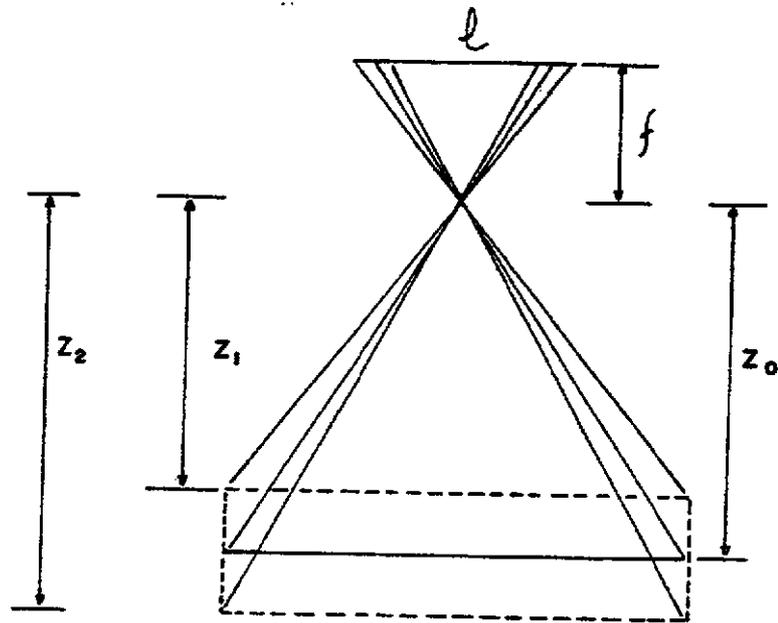


Fig. III.11

Tem-se

$$f = \text{cte} \quad \text{e} \quad l = \text{cte}$$

$$Z_1 < Z_0 < Z_2$$

$$\frac{l}{e} = \frac{f}{H} \quad \text{onde } H = Z \quad \text{ou} \quad e = \frac{H}{f}$$

Quando Z sofre variações, (e) varia na mesma proporção, provocando uma variação de escala, em decorrência, também, variarão os deslocamento devido ao relevo, as paralaxes e o exagero vertical.

Z_0	Δr	p_a	ϵ_v	ϵ
$Z_1 < Z_0$	↑	↑	↑	↑
$Z_2 > Z_0$	↓	↓	↓	↓

3.1.4 - DETERMINAÇÃO DE ALTURAS DE OBJETO EM FOTOS VERTICAIS ISOLADAS

1) A partir de distância radiais

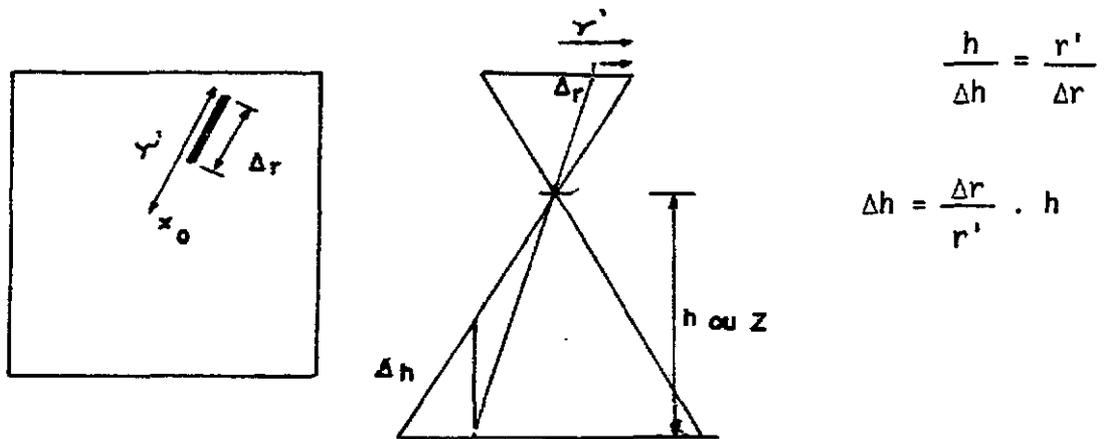


Fig. III.12

2) Pela sombra do objeto quando se conhece a altura do sol (elevação sobre o horizonte, expresso em graus).

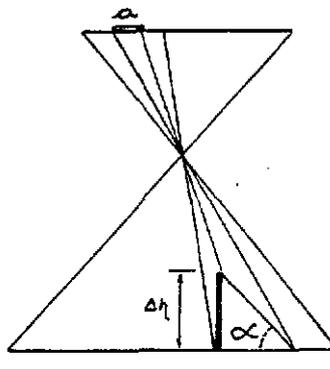


Fig. III.13

α - ângulo da elevação solar

$$\Delta h = a. e. \text{tag } \alpha$$

onde e é o denominador da escala da aerofoto.

3) Quando se conhece a altura de um objeto

$$\Delta h = \frac{a}{a_0} \cdot \Delta h_0$$

onde a e a_0 representa as sombras medidas nas fotos.

4) Obtenção de dados altimétricos com barra de Paralaxe.

Procedimentos:

- Obter os pontos de controle. Pontos com altitudes conhecida, e definidos nas imagens.

- Obter o fator C onde $C = \frac{\Delta h}{\Delta P} \begin{cases} \Delta P = P_2 - P_1 \\ \Delta h = h_2 - h_1 \end{cases}$

- Fazer a leitura de paralaxe, na barra de paralaxe, para os pontos que requer determinar as altitudes.

- Subtrair estas leituras do valor da paralaxe do DATUM.

- Multiplicar esta diferença pelo fator C .

- Somar a altitude do ponto DATUM, tendo-se a latitude do ponto desejado.

3.2 - APLICAÇÕES EM CARTOGRAFIA

3.2.1 - CARTOGRAFIA: DEFINIÇÃO E ATIVIDADES

A cartografia é definida como a técnica do levantamento, construção e edição de mapas de qualquer natureza.

A cartografia compreende um conjunto de atividades que têm por objetivo a representação total ou parcial da superfície da Terra ou de outro corpo celeste, na forma mais conveniente com os objetivos finais do trabalho. O conjunto de operações recebe o nome de mapeamento e se divide em 4 fases: Planejamento, Aquisição de dados, Tratamento da Informação, Arte final e Publicação.

● Fase 1 - Planejamento

Onde é definido o tipo de documento cartográfico que deve ser gerado em função dos meios disponíveis e dos objetivos que este documento deverá atender.

● Fase 2 - Aquisição de Dados

É a fase primeira da produção. É aqui que se realizam todas as atividades de campo e a obtenção de imagens.

Os serviços de campo, que se realizam, são os seguintes:

- 1) Levantamento astronômico, geodésico, topográfico que compreendem a determinação das coordenadas dos pontos de controle;
- 2) reambulação: compreende a identificação e o levantamento da toponímia dos acidentes naturais e artificiais do terreno;
- 3) verdade terrestre: compreende a checagem, no campo, da interpretação, atividade que pode aparecer nesta fase, mas geralmente na fase 3, quando surgem dúvidas na interpretação;
- 4) aquisição de imagens: compreende a cobertura de imagens, obtidas por sensores aerotransportados, no nível orbital ou suborbital. Estas imagens podem ser assim classificadas:

Imagens suborbitais { Aerofotos
Imagens não fotográficas

Imagens orbitais { Imagens fotográficas
Imagens não fotográficas

● Fase 3 - Tratamento da Informação

Que compreende 5 atividades básicas:

- a) Cálculo das coordenadas: consiste em determinar os valores de (X, Y e Z) de um ponto ou conjunto de pontos, com base nos dados existentes nas cadernetas de campo.
- b) Interpretação das imagens: depende dos objetivos de cada trabalho, tendo tratamentos diferentes na seleção de classificação dos acidentes naturais e artificiais do terreno.
- c) Restituição e ou aerotriangulação: a restituição, inicialmente, em desenvolver sobre a plano, medições e traçados do terreno, e a aerotriangulação em determinar coordenadas de pontos do terreno utilizando-se de outros com coordenadas já conhecidas, minimizando os custos com serviços topográficos.
- d) Atualização de documentos cartográficos já existentes: compreende a atualização dos elementos mapeados em períodos anteriormente utilizando-se de imagens recentemente obtidas.
- e) Transformação de coordenadas: consiste em transformar as coordenadas de um conjunto de pontos em outro sistema estabelecido.

● Fase 4 - Arte Final e Publicação

É nesta fase que é criado o documento final (carta ou mapa), conforme as normas e as especificações do projeto. As atividades realizadas, nesta fase, compreendem:

- a) Desenho cartográfico
- b) Diagramação da folha
- c) Lançamento de simbologia
- d) Preparo para impressão
- e) Impressão

3.2.1 - ALGUMAS DEFINIÇÕES DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS

- 1) Mapa: Representação plana, geralmente em pequena escala, de uma parte ou de toda a superfície da Terra, definida por limites naturais, políticos ou administrativos.
- 2) Carta: Representação em média ou grande escala, da superfície da Terra, subdividida em folhas, de forma sistemática, obedecendo a um diretriz.
- 3) Planta: Representação, em grande escala, de uma área restrita da superfície da terra, com objetivo específico.
- 4) Carta Topográfica ou (planialtimétrica): Representação da superfície da Terra, elaborada mediante um levantamento original ou compilado de outras cartas topográficas existentes, permitindo, facilmente, a determinação de alturas.
- 5) Carta Planimétrica: O mesmo que carta topográfica, porém sem a representação do relevo.
- 6) Fotocarta: Mosaico controlado, com quadriculado geográfico ou plano de referência (malha de projeção), incluindo informações marginais e identificação dos acidentes.

- 7) Mapa Temático ou Especial: é o mapa que tem por objetivo representar um ou mais fenômenos com um fim específico. Os acidentes topográficos são, aí representados para situar o Tema.

3.2.3 - A CARTOGRAFIA NO SENSORIAMENTO REMOTO

O Sensoriamento Remoto, utiliza-se da Cartografia para expressar os seus resultados, isto é, a cartografia é uma linguagem que, através de modelos gráficos, analógicos e analíticos, procura representar o mais corretamente possível os fenômenos, exprimendo-os quantitativa e qualitativamente sem prejuízo de informação adquirida.

Dentro das várias aplicações do sensoriamento remoto, a Cartografia pode aparecer, isoladamente, quando tratada como uma função, que têm por objetivo mapear um região. Neste caso o conjunto "Planejamento, Aquisição, Tratamento e Divulgação, sob a forma de documentos cartográficos, recebe o nome de mapeamento.

Assim sendo, pode-se dizer que a cartografia, aplicada ao sensoriamento remoto, apresenta as mesmas características operacionais, variando, na realidade, os meios de aquisição e tratamento da informação, pois os produtos cartográficos são sempre, os mapas, as cartas e os afins.

O uso de diferentes sensores é que define as aplicações e limitações da cartografia, caracterizando uma família de produtos, como demonstrado no quadro seguinte.

Quanto aos radiômetros não imageadores, estes só servirão para aquisição de dados numéricos, representativos de um determinado fenômeno, que, após tratados, poderão ser lançados em bases já existentes.

As limitações são definidas pela escala e pela precisão geométrica de cada sistema sensor, conforme demonstrado no quadro a seguir.

SENSORES PRODUTOS	CAMARAS ORBITAIS	IMAGEADORES SUBORBITAIS	IMAGEADORAS ORBITAIS MSS	IMAGEADORAS ORBITAIS REV
MAPAS/CARTAS	SIM	SIM	SIM	SIM
TEMÁTICOS	SIM	SIM	SIM	SIM
TOPOGRÁFICOS	SIM	SIM	SIM	SIM
PLANIMÉTRICOS	SIM	SIM	SIM	SIM
ALTIMÉTRICOS	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
MOSAICOS	SIM	SIM	SIM	SIM
CONTROLADO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
NÃO CONTROLADO	SIM	SIM	SIM	SIM
SEMICONTROLADO	SIM	SIM	SIM	SIM
FOTO CARTAS	SIM	-	SIM	SIM
CADASTRO URBANO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
PLANTAS	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
CADASTRO RURAL	SIM	-	SIM	SIM
ATUALIZAÇÃO DE DOCUMENTOS	SIM	SIM	SIM	SIM

LIMITAÇÕES	CÂMARAS MÉTRICAS	IMAGEADORES SUBORBITAIS	IMAGEADORES ORBITAIS MSS	IMAGEADORES ORBITAIS RBV
ESCALA GEOMÉTRICA	VARIÁVEL	VARIÁVEL	FIXA	FIXA
PRECISÃO GEOMÉTRICA	VARÁVEL	VARIÁVEL	120 - 150 m	40 - 60 m

Finalmente a divulgação destes produtos poderá ser feita, utilizando-se das técnicas de impressão já conhecidas.

BIBLIOGRAFIA

ALBERTZ, J.; KREILING, W. *Photogrammetrisches taschenbuch.*

Karlsruhe, Herbert Wichmann Verlag, 1975.

BRASIL. Ministério do Exército. *Manual técnico do serviço geográfico.*

Confecção do original cartográfico. Brasília, Centro Gráfico do Senado Federal, 1975.

RIMBERT, S. *Leçons de cartographie thématique.* Paris. Societé

D'Édition D'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR, 1968.

SCHWIDEFSKY, K. *Fotogrametria terrestre y aérea.* 2 ed. Madrid,

Labor, 1960.

WILD. *Estereoscópio de espejos - WILD ST4.* Alemanha, 1972.

CAPÍTULO IV

ELEMENTOS DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

4.1 - INTRODUÇÃO

Os produtos fornecidos por diferentes sensores são, na sua maioria, apresentados em forma de imagens, as quais constituem o registro de energia refletida, emitida, em diferentes regiões do espectro-eletromagnético e gravadas em várias formas e escalas.

De acordo com o manual da American Society of Photogrammetry, (1960), a interpretação ou a fotointerpretação destes dados pode ser definida como "o ato de analisar as imagens fotográficas com o propósito de identificar objetos e deduzir seu significado". Esta definição pode ser completada pela de Summerson (apud Garcia, 1975 como "a previsão do que realmente não pode ser visto concretamente, a não ser por relações de análise").

A interpretação de imagens fotográficas é hoje um recurso tecnológico praticamente indispensável às pesquisas e ao levantamento de recursos naturais, assim como à resolução de problemas relativos a diversas disciplinas como, por exemplo, Geologia, Pedologia, Geomorfologia, Engenharia e outras.

Sua importância decorre principalmente, da economia, precisão, riqueza de detalhes e rapidez na obtenção das informações, as quais, por métodos convencionais, demandariam gasto enorme de tempo e de recursos humanos, econômicos e materiais.

Para que se torne possível a utilização dos métodos de interpretação de imagens para os vários fins acima mencionados, é necessário o conhecimento dos elementos básicos a serem analisados sobre as imagens fotográficas. Embora muitos artigos e textos difiram quanto ao número desses elementos, há unanimidade em se afirmar a existência de seis:

tamanho, forma, sombra, tonalidade ou cor fotográfica, textura e padrão. Três outros elementos, que são frequentemente incluídos, serão discutidos paralelamente: localiza o, convergência de evidenciais e resolu o.

Este texto tem por finalidade apresentar uma abordagem geral dos elementos, métodos de interpreta o de imagens, ligados a diversas áreas das Ciências Naturais, a fim de que os profissionais dessas áreas adquiram certa gama de conceitos em interpreta o de imagens, conforme as necessidades de sua especializa o de estudos ou de trabalhos.

4.2 - ELEMENTOS DE INTERPRETA O

4.2.1 - TAMANHO

O tamanho dos objetos ou dos alvos que se pretende identificar sobre as imagens fotográficas, constitui um fator de grande alcance na interpreta o. Trata-se, evidentemente, de um elemento relativo que são   válido uma vez que se observa devidamente a escala da imagem.

Na prática, a avalia o da geometria dos alvos em análise   feita através da compara o com os de fácil identifica o, cujas dimensões sejam mais familiares. Esse elemento pode ser útil em fotointerpreta o, tanto na visão monosc pica (imagens orbitais sem sobreposi o), como na visão estereoscópica (aerofotos convencionais com sobreposi o), dependendo da dimensão que se propõe analisar o tamanho de um determinado objeto.

Assim, quando se pretende distinguir as dimensões de uma parcela de cultura hort cula das de cultura anual, basta a visão monosc pica da imagem fotográfica. Quando se utiliza esse mesmo elemento para identificar diferentes tipos de edifica es urbanas, a visão estereoscópica   importante, para analisar suas dimensões.

4.2.2 - FORMA

A forma dos alvos registrados nas imagens fotográficas constitui um elemento bastante objetivo na fotointerpretação. Reconhecer na imagem a forma destes alvos é essencial.

O elemento forma em fotointerpretação é função da escala. Sua maior ou menor significação depende de uma escala que permita a visualização das características morfológicas na imagem.

Grande parte do treinamento do intérprete em imagem é voltada para a reorientação de sua percepção, de tal forma que possa reconhecer facilmente objetos vistos de cima. Em interpretação fotográfica, esta reorientação é grandemente auxiliada pela impressão de profundidade oferecida pelos pares estereoscópicos.

A vantagem da forma para o intérprete é que ela delimita a classe de objetos além de ser fator importante nos trabalhos de interpretação, vinculados a fenômenos urbanos, geomorfológicos e outros. Em trabalhos de uso do solo urbano, cadastramento e outros estudos específicos sobre edificações ou sistema viário, o reconhecimento através da forma constitui recurso bastante prático.

Nas imagens de pequena escala, a forma pode ser analisada a um nível mais genérico e oferece meios de reconhecer aspectos de superfície (geometria), como extensão de ocupação do solo, áreas reflorestadas, núcleos urbanos, redes viárias, bem como aspectos geológicos, geomorfológicos, etc..

4.2.3 - SOMBRA

As sombras são fenômenos comuns nas imagens fotográficas e normalmente oferecem meios para julgar o tamanho e forma dos alvos pela observação das sombras por eles projetadas. As sombras presentes em fotografias aéreas auxiliam o intérprete na caracterização do perfil dos alvos de interesse.

Nas imagens de grande escala, a sombra pode propiciar o reconhecimento e determinação da altura de edifícios, árvores, etc.. Porém, às vezes, o efeito da sombra mascara certos detalhes a serem julgados na análise de determinados estudos.

Em alguns projetos geológicos, por exemplo, as imagens fotográficas devem ser obtidas com ângulos solares muito baixos, com a finalidade de acentuar pequenas irregularidades da superfície topográfica. Esta é também um das razões pela qual as imagens de Radar de Visada Lateral, que se assemelham às imagens fotográficas de baixo ângulo solar, estão se tornando mais importantes em pesquisas geológicas, pedológicas e geomorfológicas. (American Society of Photogrammetry, 1975).

O destaque ao terreno, dado pelo baixo ângulo solar, foi também um fator de influência na determinação do horário de aquisição de imagens pelos satélites das série LANDSAT.

Nas imagens de pequena escala, (Radar, LANDSAT), a sombra, contribui principalmente para o estabelecimento de contatos ou limites geológicos e pedológicos. Nas imagens obtidas com baixo ângulo de elevação solar, destacam-se pequenas variações do relevo, que se evidenciam pelo aparecimento de áreas iluminadas e sombreadas, as quais, no conjunto, oferecem aspectos tonais e texturais distintos, passíveis de serem caracterizados e analisados.

4.2.4 - TONALIDADE E COR

A tonalidade fotográfica é uma resposta da quantidade relativa da luz refletida ou da radiação emitida, que é registrada numa emulsão fotográfica.

A tonalidade fotográfica é um elemento essencial na interpretação de imagens, especialmente quando se trata das pancromáticas ou no infravermelho preto e branco. Nessas imagens a tonalidade se constitui de gradações de cinza que variam do branco ao preto. A maior ou me

nor variação de tonalidade numa imagem é função do intervalo de sua densidade. Uma imagem caracterizada por uma maior variação de densidades apresentará contraste menos intenso, oferecendo maior variedade tonal e maiores possibilidades de interpretação.

Evidentemente, a gradação de tons na imagem depende não apenas das características da emulsão e do processamento fotográfico, mas também da natureza dos objetos imageados.

A tonalidade resulta, além da dimensão da superfície refletora, das propriedades físicas e químicas do objeto imageado. Cada objeto, de cor e superfície características, tem um padrão de reflectância definido. A tonalidade está sujeita a ampla variação, pois muitos fatores interferem na sua definição. Portanto, sua utilização como elemento de interpretação fotográfica deve ser encarada com certo critério. A tonalidade fotográfica depende da luz que, por sua vez, depende da situação do objeto em relação à fonte de energia. Assim, a hora do dia, o mês do ano e a latitude do local são variáveis que nela interferem.

A névoa atmosférica, por sua característica de difundir a luz, especialmente a da extremidade azul do espectro-eletromagnético, é um fator que causa grande interferência na tonalidade. Em um par de imagens fotográficas, uma lagoa pode aparecer com tonalidades totalmente diversas em cada uma. Os raios de luz que incidem sobre o espelho de água, devido à mudança da posição do avião entre duas tomadas de foto, sofrem variação de ângulo, modificando a reflectância do objeto.

A tonalidade, apesar de ser um elemento de interpretação limitado, é particularmente útil devido ao seu potencial de informação. Tem importância especial na identificação de tipos de vegetação, tipos de solo, natureza da sedimentação, entre outros aspectos.

Em áreas tropicais, deve-se encarar o emprego da tonalidade fotográfica para interpretação de imagens com certas restrições.

Tratando-se de vegetação natural ou cultivada, deve-se levar em consideração que as condições climáticas tropicais e os sistemas agrários se caracterizam por aspectos de grande interferência na tonalidade. (Grupo Executivo da Grande São Paulo, 1976).

A tonalidade, como elemento de interpretação, deve ser encarada mais como um fator de diferenciação relativa do que como um meio de identificação. Por outro lado, seu emprego, terá melhores resultados quando combinado com outros elementos, como a textura e a forma.

Quando da análise da tonalidade, deve-se dar especial atenção às imagens de pequena escala, principalmente às fornecidas pelos satélites da série LANDSAT.

A luz refletida pelos diferentes objetos varia com o comprimento de onda e com a porção do espectro utilizado na tomada da imagem. Para as imagens LANDSAT, um mesmo alvo pode aparecer com diferentes padrões tonais, face ao seu caráter multiespectral. Assim sendo, o intérprete deve estar ciente destas variações tonais para uma interpretação correta dos alvos em análise.

A cor é uma propriedade que os materiais possuem de refletir raios de luz de um comprimento de onda particularmente dominante. Croma, saturação e brilho são as três variáveis que a constituem, tais variáveis podem ser diferenciadas pelo ser humano através de 1000 unidades coloridas. (American Society of Photogrammetry, 1975).

A percepção de cor pelo olho humano é importante na identificação dos componentes de um ambiente natural. Objetos diferentes refletem, emitem e transmitem diferentes quantidades e comprimentos de onda de energia, que são gravadas como variações tonais policromáticas, ou como variações de densidade monocromática em uma imagem. As imagens fotográficas de cor verdadeira frequentemente facilitam a interpretação, pois fornecem ao fotointérprete uma visão mais completa do objeto em estudo.

Um outro ponto que deve ser abordado é o aumento que está havendo no uso de fotografias falsa cor ou fotografias de cor realçada, como uma forma de melhorar a interpretação. Fotografias coloridas no infravermelho e dispositivos de realce de imagem, tanto óticos como eletrônicos, podem produzir várias combinações de cores diferentes, a partir de um conjunto de transparências em preto e branco. Para ampliar os detalhes e obter imagens de alta qualidade em pequena escala, ou para realçar contrastes tonais de pouca variação entre objetos, podem ser feitas filtragens ou combinações de várias faixas de imagens multiespectrais em preto e branco.

4.2.5 - PADRÃO

O elemento padrão se caracteriza pela união ou extensão de formas reproduzidas nas imagens fotográficas.

Padrões regionais, que formalmente poderiam ser estudados somente através de laboriosa observação de superfície, são nitidamente visíveis nas imagens fotográficas. Como foi afirmando no manual da American Society of Photogrammetry (1960), o observador experiente avalia a significância da imagem fotográfica aérea, principalmente, através de seu entendimento dos padrões da superfície terrestre.

Alguns padrões em nosso ambiente são fundamentalmente naturais. Entretanto, existem poucas partes do mundo que não foram influenciadas pelo homem e muitos padrões visíveis de uma perspectiva aérea resultam da interação de fatores naturais e culturais. Ainda que seja difícil entender funções naturais simplesmente olhando-as, particularmente de uma altura de vários quilômetros, a configuração vista de cima é frequentemente um indício suficiente da função das feições e interações.

Os especialistas em ciências da terra sempre consideraram o padrão ou arranjo espacial de objetos uma importante pista de sua origem e/ou funções. Padrões de afloramentos fornecem indícios de estru

ras geológicas, e os de drenagem são associados com estrutura, litologia e textura do solo (Anderson, 1979).

Alguns padrões são facilmente conhecidos como os aspectos retilíneos e ortogonais em cidades devido à estruturação das ruas, ou como uma rede de drenagem formada pelos rios e seus tributários. Os padrões de drenagem são importantes e úteis para todas as disciplinas na área de Ciência Naturais, que usam fotointerpretação, porque revelam muito sobre o terreno, o qual está ligado aos tipos de rochas, aos solos, à vegetação, à hidrologia e aos usos antrópicos dos recursos naturais.

4.2.6 - TEXTURA

Entende-se por textura o padrão de arranjo dos elementos tonais; e representa a imagem do conjunto, dado pela disposição das menores feições que conservam sua identidade na escala da imagem fotográfica.

A menor superfície contínua e homogênea distinguível na imagem fotográfica e passível de repetição, é denominada textura ou elemento textural. Uma das propriedades do elemento textural é a de sua repetição ou frequência, com formas e dimensões definidas (Riverau, conforme citação de Soares, 1967). Um elemento textural pode ser a imagem de uma árvore ou de parte dela (dependendo da escala), ou a imagem de uma parte da linha de drenagem ou de parte do relevo.

Uma mudança de direção ou de forma, na linha de drenagem ou na superfície do relevo, constitui uma mudança na distribuição espacial do elemento textural.

Na análise das imagens fotográficas, pode-se separar diferentes graus de densidade de textura, ou seja, zonas com maior ou menor número de elementos texturais por unidade de área. A densidade de textura é o inverso da distância média entre os elementos texturais. Na

Figura IV.1 apresentam-se texturas de drenagem com densidades diferentes; na margem esquerda tem-se maior densidade de textura.

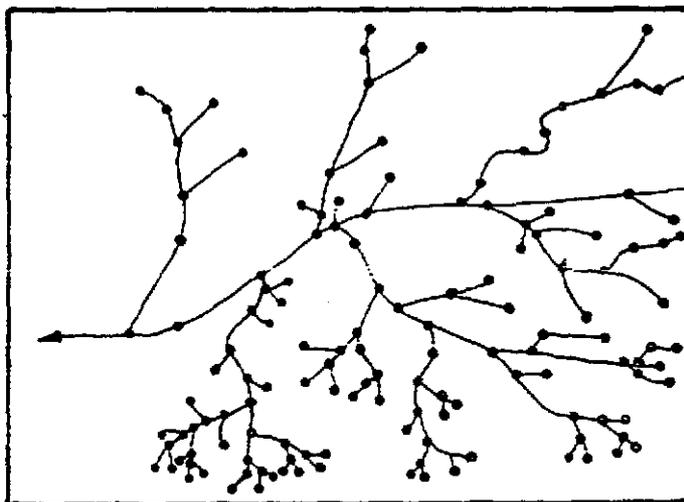


Fig. IV.1 - Elementos texturais de drenagem
FONTE: Soares & Fiori (1976)

As variações na textura do relevo e da drenagem constituem a propriedade fundamental da análise da imagem, pois permitem separar feições com significados diferentes ou associar feições com o mesmo significado, dado por condições naturais. Por outro lado, pode-se ter textura sem significado geológico, mas com significado florestal, pedológico ou geomorfológico.

Portanto, a textura (impressão visual da rugosidade ou uniformidade originada por alguns objetos) é um elemento muito importante em interpretação, principalmente quando se refere ao Radar de Visada Lateral e ao imageamento passivo com radiometria de microondas, onde ela desempenha um importante papel na diferenciação de várias classes de fenômenos ambientais.

O termo "textura fotográfica" pode ser visível com "textura" ou "feição individual" só em imagens de grande escala, em escalas muito pequenas (imagens orbitais), a textura é a combinação dos ele

mentos de reconhecimento ou de interpretação: tonalidade, forma, tamanho e padrão. Com imagens de pequena escala, a textura é usada com grande vantagem sobre as imagens aéreas convencionais, pois, feições que são normalmente padrões sobre imagens aéreas, frequentemente aparecem como textura em imagens orbitais.

4.2.7 - LOCALIZAÇÃO

A localização é o entendimento ou familiarização com a região geográfica fotografada; tal entendimento pode ser feito através de literatura ou de visitas à área.

A localização é o elemento de reconhecimento que auxilia na interpretação à medida em que se entende, por exemplo, o clima, o tipo de vegetação, a influência humana, etc.. A posição geográfica refere-se genericamente ao conhecimento do tipo da região. Sabendo-se que as imagens fotográficas são de uma zona de cerrado, a vegetação desta área não será confundida com a que aparece em imagens de outras áreas no sul do País.

4.2.8 - CONVERGÊNCIA DE EVIDÊNCIAS

A interpretação visual de imagens é basicamente um processo dedutivo, com critérios de subjetividade em alguns aspectos. Feições que podem ser reconhecidas e identificadas diretamente conduzem o intérprete à identificação e localização de outras feições. Mesmo que todos os aspectos de uma área estejam irreversivelmente interrelacionados, o fotointérprete deve começar por um deles. Não se podem considerar drenagem, forma de terreno, vegetação e feições culturais, simultaneamente. Deve-se começar com uma feição ou grupo de feições e, então, partir para as outras, integrando cada uma das facetas do terreno de acordo com o desenvolvimento do trabalho. Para cada terreno, o intérprete deve achar um ponto de partida e então considerar cada um dos seus vários aspectos de uma maneira lógica.

A perfeição e exatidão da interpretação de imagens são proporcionais ao entendimento, pelo intérprete, de "como" e "porque" as imagens mostram forma, tamanho, tonalidade, sombra, padrão e textura; enquanto que um entendimento sobre localização, associação e resolução aumentam a habilidade do intérprete de integrar as diferentes feições que compõem o terreno. Para o intérprete iniciante, a consideração sistêmica dos elementos de interpretação de imagem deveriam preceder a interpretação integrada do terreno.

O princípio de convergência de evidências determina que o intérprete deve primeiramente reconhecer as feições básicas ou tipos de feições, para depois considerar seu arranjo (padrão) no contexto da distribuição espacial.

4.2.9 - RESOLUÇÃO

A resolução é a capacidade de um sistema de imageamento (incluindo lentes, filtros, detetores, emulsão, exposição, processamento e outros fatores) de gravar ou registrar detalhes de maneira distinta. É um elemento importante para a interpretação, porque auxilia a integrar ou estabelecer limites entre os demais elementos, normalmente utilizados na interpretação de imagens.

Como a resolução depende de vários parâmetros, ela sempre limita a interpretação. Quando se faz a seleção de imagens fotográficas para a realização de trabalhos de levantamento de recursos naturais, é necessário levar em consideração a resolução do sistema, porque não se consegue reconhecer alvos de dimensões reduzidas sobre imagens fotográficas obtidas por sistemas de baixa resolução.

4.3 - FASES DA INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS FOTOGRAFICAS

4.3.1 - INTRODUÇÃO

Inicialmente é necessário ressaltar que um bom reconhecimento técnico a respeito das imagens fotográficas, de escalas e de ins

trumentos, é indispensável à interpretação. Deve-se levar em conta, primeiramente, que as imagens fotográficas pancromáticas mostram o terreno em diferentes tons ou níveis de cinza, que variam do negro ao branco, e que estas variações tonais são causadas pelas diferenças de iluminação ou de reflexão dos objetos na superfície terrestre.

A segunda componente da imagem é a geométrica, com a percepção da impressão do relevo, vista em três dimensões através do estereoscópico. O relevo aparece mais exagerado na imagem estereoscópica, o que representa uma vantagem. Sem dúvida, são necessários certos treinamentos e habilidade para transformar a impressão do relevo em termos reais.

A imagem estereoscópica da paisagem proporciona devido à noção de profundidade uma vista muito melhor dos alvos e características principais do terreno, em relação à visão normal que se pode obter de qualquer ponto da superfície deste terreno. Isto se deve, em primeiro lugar, ao ponto aparente de observação sobre a superfície, evidentemente em todas as direções. Em segundo lugar, ao fato da percepção tridimensional se perder a uma distância maior que 1000 metros na observação do terreno. A comparação da imagem estereoscópica tridimensional exagerada, com a visão normal permite ao fotointérprete observar diferenças muito pequenas, a uma grande distância. O modelo de tais diferenças, sem dúvida, pode ser observado mais facilmente do que seria possível no terreno.

4.3.2 - FASES DA INTERPRETAÇÃO

Normalmente, aceitam-se três fases: a foto-leitura, a foto-análise e a foto-classificação ou fotointerpretação propriamente dita.

A primeira fase, a "foto-leitura", denomina-se também "reconhecimento e identificação". Nesta etapa do trabalho, o fotointérprete dedica-se ao estudo dos objetos e características claramente visíveis na imagem fotográfica, a fim de fazer sua identificação com pre

cisão. A maior ou menor facilidade para efetuar tal operação depende, em grande parte, do grau de familiaridade com as características do terreno. Quanto maior a experiência do fotointérprete (fotoexperiência), maior a sua capacidade para reconhecer e identificar objetos.

A fotoexperiência pode ainda ser auxiliada pelo uso de chaves de identificação, que consiste em descrever os elementos da imagem que caracterizam o alvo em análise.

Uma chave não é simplesmente uma imagem do terreno com uma breve descrição do que é visível diretamente; é também uma fonte de informação concisa e adequada a respeito das condições específicas que são encontradas no campo e que estão presentes na imagem fotográfica.

No reconhecimento e identificação de objetos sobre imagens fotográficas, existem vários graus de dificuldades. Para muitas pessoas é fácil identificar um rio, uma cidade ou outros objetos conhecidos por elas em sua vida diária. Porém, para a identificação de falhas e discordâncias geológicas, por exemplo, é necessário um conhecimento geológico mais especializado.

A próxima fase da fotointerpretação é a "foto-análise" que se inicia com a escolha das características a serem analisadas. O geólogo, por exemplo, pode observar direções de camadas, falhamentos, fraturas, etc.. Para ele, a vegetação é um obstáculo que deve ser descartado de sua análise. Os peritos em conservação de solos podem analisar um tipo de erosão do solo e seu grau de desenvolvimento. A análise deve correlacionar-se, o quanto possível, com elementos e padrões diretamente visíveis de serem quantificados. Isto deve ser feito sistematicamente sobre toda a área.

Assim, fica claro que a análise deve ser feita por um profissional especializado naquele campo de estudo. A escolha dos elementos é, geralmente, de natureza tão especializada que um amador ou não especialista cometeria sérios erros. Normalmente, para as diversas especializações como a Geologia, Pedologia, Silvicultura, Engenharia,

etc., já existem métodos consagrados de interpretação, cabendo ao fotointerprete unicamente a tarefa de conhecê-los bem para melhor utilizá-los.

Ao mesmo tempo, o profissional deve constantemente ampliar a sua "foto-experiência", renovando o conhecimento que possui do terreno e verificando-lhe a análise no campo.

De acordo com o interesse atual, a palavra "análise" dá idéia do estudo do todo através das "fontes" ou "elementos" que a compõem. Em fotointerpretação, o "todo" é um "padrão", um aspecto maior, um conjunto coerente de elementos correlatos, uma distribuição espacial determinada. Exemplos: padrão de relevo, padrão de vegetação, padrão de erosão, etc.. Os "elementos" componentes do padrão relevo (citados apenas para compreensão do conceito de "elementos" do padrão) são: tipo e classe de relevo, declives (forma comprimento, uniformidade), etc..

Para alguns estudos, a foto-leitura e a foto-análise de imagens fotográficas tornam-se a sua finalidade principal: porém, para outros, são uma fase intermediária que permite uma classificação, que é a seleção prévia dos elementos ou parâmetros necessários à fotointerpretação.

A última fase é a fotointerpretação propriamente dita. Além de incluir todas as características da foto-leitura e da foto-análise (identificação e análise), esta fase implica numa descrição das imagens fotográficas dentro de uma margem de raciocínio lógico, valendo-se das técnicas auxiliares, do exame cuidadoso dos elementos de interpretação e de uma avaliação dedutiva e indutiva desses elementos. Somando-se tudo isto, tem-se o conhecimento e a experiência do fotointerprete.

Evidentemente, não se pode confundir a foto-leitura e a foto-análise com a fotointerpretação, que é um grau mais avançado das conclusões extraídas a partir das imagens fotográficas, que se aplicam a um determinado estudo (Geologia, Pedologia, Geomorfologia, Engenharia, Ecologia, etc.).

BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photographic Interpretation*. Menasha, Wisconsin, George Banta, 1960.
- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Remote Sensing*. Falls Church, VA., 1975.
- ANDERSON, P.S. *Fundamentos para fotointerpretação*. Fundação Universidade de Brasília, Brasília - DF, 1979.
- GARCIA, G.H. *Fotointerpretação comparativa de fotografias panorâmicas, coloridas e infravermelhas coloridas (falsa cor)*. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz". Piracicaba, 1975.
- GRUPO EXECUTIVO DA GRANDE SÃO PAULO (GEGRAN). *Programa de treinamento em fotointerpretação*. São Paulo, 1976.
- SOARES, P.C.; FRIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícias Geomorfológicas*, 16 (32): 71-104, 1976.



CAPÍTULO V

INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO EM GEOLOGIA

5.1 - INTRODUÇÃO

Neste texto, aborda-se a metodologia de interpretação de dados de geologia dos diversos produtos obtidos por sensores remotos.

Basicamente, estes métodos são derivados das definições da fotointerpretação geológica convencional, desenvolvidas para as fotografias aéreas em branco e preto, podendo ser adaptados a todos os produtos, desde que se considerem as semelhanças e diferenças existentes entre eles.

A abordagem obedecerá a ordem de grandeza de escalas (das maiores para as menores), sempre procurando dar ênfase aos tipos de problemas que podem ser estudados com cada um dos produtos.

Os objetivos dos estudos geológicos podem ser, de um modo geral, englobados nos seguintes itens:

- mapeamento geológico;
- procura de recursos minerais e energéticos;
- geotécnica; e
- planejamento ambiental e prevenção de acidentes naturais.

O sensoriamento remoto é uma importante ferramenta, que pode ser utilizada com o intuito de atingir estes objetivos.

5.2 - METODOLOGIA

5.2.1 - GENERALIDADES

Os métodos de interpretação são baseados naqueles desenvolvidos para as fotografias aéreas convencionais, considerando-se que