

3

Fundamentos de sensoriamento remoto

O presente capítulo apresenta uma descrição sucinta dos principais fundamentos do sensoriamento remoto e tem exclusivamente o objetivo de facilitar a compreensão deste trabalho para o leitor não familiarizado com esta área. Os leitores que desejarem aprofundar seus conhecimentos poderão consultar as seguintes obras (Colwell, 1983; Elachi, 1987; Novo, 1989; Szekiolda, 1989; Harries, 1990; Verbyla, 1995; Sabins, 1996, 1997; Drury, 1997; Lillesand, 1999; Richards, 1999; Wolf, 2000; Rees, 2001; Campbel, 2002; Joseph, 2003).

Sensoriamento remoto é a ciência e arte da obtenção de informação sobre um objeto, área ou fenômeno através da análise dos dados obtidos por dispositivos que não estão em contato físico direto com o objeto, área ou fenômeno sob investigação (Lillesand, 1999).

Atualmente, existe a disponibilidade de uma infinidade de tipos diferentes de sensores (Campbell, 2002); contudo, este trabalho se concentra apenas naqueles sensíveis a radiação eletromagnética, especificamente aqueles transportados por satélite. A figura 1 ilustra esquematicamente todo o processo de sensoriamento remoto, que a grosso modo pode ser subdividido em aquisição e análise dos dados.

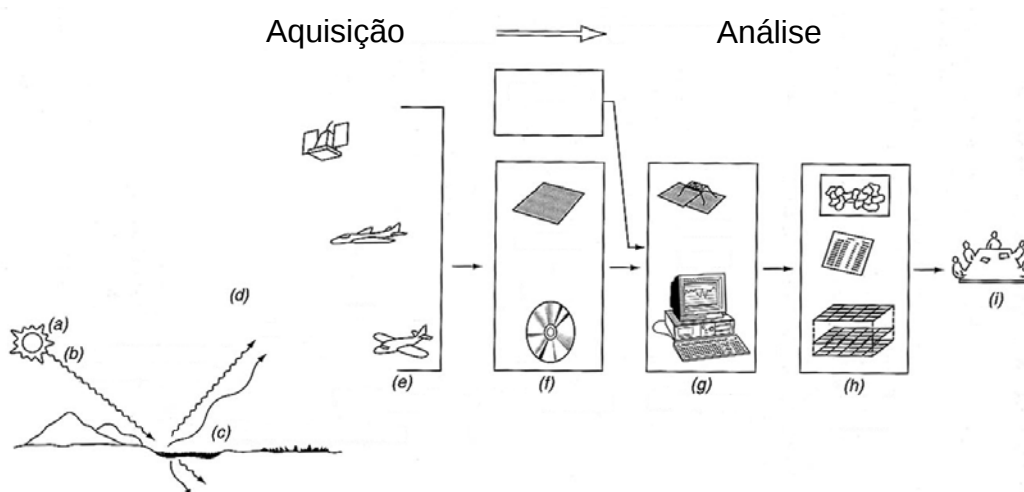


Figura 1 – Processo de sensoriamento remoto (Lillesand, 1999)

Os elementos da aquisição dos dados são fontes de energia (a), propagação através da atmosfera (b), interação da energia com a superfície da terra (c), retransmissão da energia através da atmosfera (d) que excita os sensores remotos (e) que por sua vez, dependendo da tecnologia empregada, atuam de forma pictórica ou digital (f). Em seguida, começa o processo de análise (g) que envolve a interpretação das imagens obtidas no passo anterior com auxílio de dados de referência, como bases cartográficas, estatísticas de colheitas, verdade de campo, ou sistemas de informação geográfica. Ao serem compiladas todas as diversas fontes de dados são produzidas informações úteis (h); geralmente na forma de mapas impressos ou tabelas que podem ser incluídas em Sistemas de Informações Geográficas. Finalmente (i) as informações são disponibilizadas a usuários que as aplicam na tomada de decisões.

No restante deste capítulo, são brevemente discutidos os princípios teóricos básicos que dão sustentação ao processo de sensoriamento remoto. Começando pelas fontes de energia e os princípios de radiação, passando pela sua interação durante a propagação através da atmosfera e ao se deparar com a superfície da terra. Além disso, ao final são apresentados os detalhes relevantes para a formação das imagens e sua interpretação.

3.1.

Caracterização da radiação eletromagnética

Luz visível, ondas de rádio, calor, raios ultravioleta e raios X são, na realidade, ondas eletromagnéticas, podendo ser definidas como vibrações de campos magnéticos e elétricos que se propagam através do espaço (Sabins, 1996). Em (Halliday, 1995) é apresentada a descrição matemática definitiva dos fenômenos eletromagnéticos realizada por James Clerk Maxwell, conhecida como equações de Maxwell.

Ondas eletromagnéticas viajam à velocidade da luz num arranjo senoidal harmônico. Para caracterizá-las pode ser empregada sua frequência ou seu comprimento de onda, contudo, no sensoriamento remoto, é mais comum a categorização das ondas eletromagnéticas através da localização do seu comprimento de onda no espectro eletromagnético.

3.2.

Interação da energia eletromagnética na atmosfera

Independentemente de sua fonte, toda radiação detectada por sensores remotos percorre algum caminho através da atmosfera. O efeito da atmosfera não depende somente da dimensão do caminho percorrido, mas também da magnitude do sinal, das condições atmosféricas e dos comprimentos de onda das radiações envolvidas (Rees, 2001).

As principais fontes de distorção causadas pela interação entre as ondas eletromagnéticas e os constituintes da atmosfera são descritas a seguir.

3.2.1.

Dispersão

Dispersão atmosférica é a difusão imprevisível da radiação causada por partículas na atmosfera. O principal resultado deste efeito corresponde ao obscurecimento dos detalhes finos das imagens. São conhecidos quatro tipos de dispersão atmosférica: Rayleigh, Mie, Raman e não-seletiva. A dispersão de Rayleigh (Lillesand, 1999) não altera a energia dos fótons que sofrem influência deste efeito. Este é o tipo mais comum de dispersão e ocorre quando a luz incidente encontra partículas ou moléculas na atmosfera menores que seu comprimento de onda. A dispersão de Mie (Nave, 2000a), ao contrário do que ocorre com a dispersão Rayleigh, ocorre quando o comprimento de onda da energia é comparável ao tamanho das partículas com as quais a radiação se depara na atmosfera. Uma outra modalidade de dispersão, chamada dispersão de Raman (Nave, 2003b; Wang, 1999), ocorre quando os fótons incidentes interagem com as partículas da atmosfera fazendo com que sua energia aumente ou diminua alterando sua frequência. A dispersão não-seletiva (Lillesand, 1999) afeta tanto os comprimentos de onda na faixa do visível quanto infravermelhos médio e próximo, e por causa desta não seletividade, é assim chamada. Este fenômeno ocorre quando os tamanhos das partículas que o causam, tais como gotículas d'água, são muito maiores do que o comprimento de onda da radiação com a qual interagem.

3.2.2. Absorção

A absorção corresponde à interação entre uma onda, seja de natureza eletromagnética ou mecânica, com o meio de propagação provocando a diminuição de sua intensidade. Este resultado decorre da conversão de parte da energia em calor, energia térmica. Assim, quando uma molécula de gás absorve a radiação solar esta energia é transformada em movimento molecular interno, detectável como aumento de temperatura. Dentre os constituintes da atmosfera, os mais eficientes absorvedores da radiação solar são ozônio, dióxido de carbono e vapor d'água.

3.3. Interação da energia eletromagnética com a superfície da Terra

Ao alcançar uma região qualquer da superfície da Terra, a radiação eletromagnética incidente interage de acordo com as características do sinal e da superfície em questão. Como resultado desta interação, uma parte da energia incidente é refletida, outra porção é absorvida, e, ainda, uma outra fração é transmitida.

A proporção da energia refletida, absorvida ou transmitida varia enormemente dependendo do tipo do material e da condição na qual o material se encontra. Além disso, dependendo do comprimento de onda um mesmo material irá refletir, absorver e transmitir quantidades diferentes de energia.

Os sensores remotos medem a proporção da energia refletida que os atinge. Portanto, o sensoriamento remoto se interessa principalmente em compreender a reflexão. A reflectância de uma superfície de certo tipo pode ser quantificada medindo a proporção da energia incidente que é refletida. Esta é uma medida feita em função do comprimento de onda da energia incidente e é chamada reflectância espectral, ρ_λ , que é definida matematicamente pela eq. (1).

$$\rho_\lambda = \frac{E_R(\lambda)}{E_I(\lambda)} \times 100\% \quad \text{Eq. (1)}$$

onde $E_R(\lambda)$ e $E_I(\lambda)$ representam respectivamente a quantidade de energia refletida e incidente.

O gráfico que apresenta a variação da reflectância espectral de um objeto em função do comprimento de onda é chamado curva de reflectância espectral. A figura 2 apresenta as curvas de reflectância espectral médias para as classes vegetação, solo exposto e água.

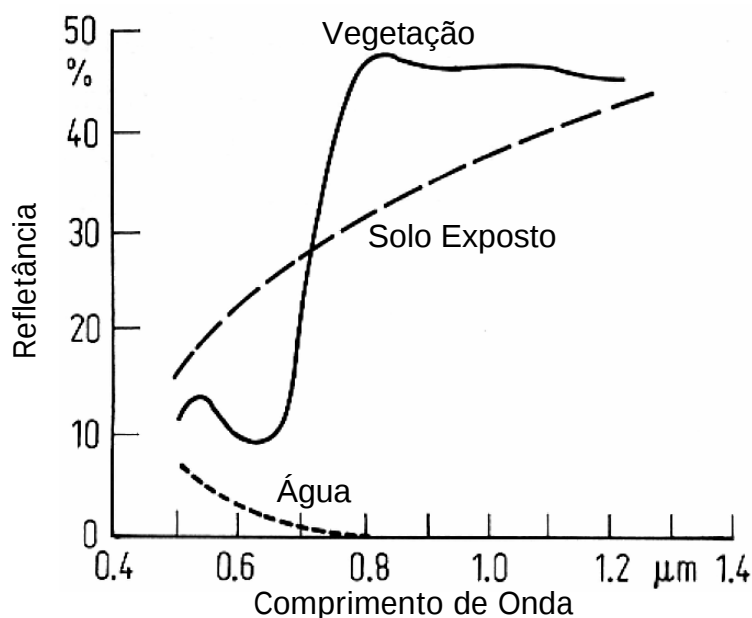


Figura 2 – Curvas de reflectância espectral de diferentes classes de uso do solo (Richards, 1999).

Para a diferenciação das classes de uso do solo, a configuração das respectivas curvas de reflectância subsidia a escolha das bandas que serão empregadas para a composição das imagens a serem usadas como base para a foto-interpretção. Neste contexto, bandas são faixas de comprimento de onda que subdividem o espectro de radiação eletromagnética.

3.4. Aquisição das imagens

Até agora, neste capítulo, foram discutidas as principais fontes de energia eletromagnéticas, sua propagação através da atmosfera e sua reflexão em função das diferentes classes de cobertura do solo. Combinados, estes processos resultam na resposta de energia da qual se deseja extrair informação. Nesta seção, são

considerados os processos utilizados na captação e armazenamento desta informação.

Os sensores eletrônicos carregados por plataformas orbitais (satélite) produzem um sinal elétrico correspondente aos níveis de energia provenientes de uma cena. Apesar de, algumas vezes, quando comparados às máquinas fotográficas comuns, serem mais complexos e caros, sensores eletrônicos oferecem como vantagens: sensibilidade a faixas espectrais mais largas; maior potencial para calibração; habilidade de armazenar a informação sem qualquer degradação ao longo do tempo; e, também, de transmiti-la eletronicamente.

3.5. Interpretação de imagens de sensores remotos

Olhando-se para imagens aéreas, ou mesmo obtidas por satélite, podem ser observados objetos de diferentes tamanhos e formas. Em ambos os tipos de imagens, parte destes objetos pode ser prontamente identificada, enquanto outra parte não. Quando um profissional treinado identifica o que observou e disponibiliza esta informação para outros está realizando interpretação de imagens de sensores remotos, transformando esta informação crua em informação útil.

Para a realização da interpretação de imagens devem ser considerados três aspectos: os padrões espectrais, os padrões espaciais e os padrões multitemporais. Foto-intérpretes treinados demonstram possuir uma grande capacidade de reconhecer a dependência espacial assim como realizar a análise qualitativa das imagens baseada em julgamentos subjetivos. De modo semelhante, informações sobre a área em estudo em datas anteriores (aspecto multitemporal) são facilmente exploradas por foto-intérpretes no processo de análise das imagens. Contudo, na análise espectral através de esforço visual, os padrões de resposta espectral nem sempre são adequadamente reconhecidos, pois o olho humano possui limitada capacidade de reconhecer diferenças entre níveis tonais similares e analisar simultaneamente um número grande de faixas.

Por outro lado, a análise espectral assistida por computador é mais rápida do que a realizada por um foto-intérprete. Além disso, não impõe restrição de número

de faixas. Comparado ao ser humano, o processo digital apresenta uma maior sensibilidade a pequenas variações tonais.

Não obstante, quando a resposta espectral das classes é muito semelhante, mesmo com toda a capacidade computacional atualmente disponível, a classificação espectral pode não proporcionar resultados satisfatórios. Normalmente, nestes casos, um foto-intérprete treinado considera informações adicionais, além de conhecimento específico sobre a região de interesse, a fim de corrigir a classificação produzida pelo computador. Este processo é conhecido como pós-edição.

Em geral, a classificação espectral é assistida por computador, porém, habitualmente, é necessária intervenção humana a fim de selecionar os padrões de treinamento. Entretanto, por outro lado, o trabalho de pós-edição é inteiramente manual.

A metodologia proposta na presente tese objetiva o aumento no grau de automação do processo de foto-interpretação. Para isso, é preciso:

- 1) automatizar a seleção do conjunto de treinamento;
- 2) executar os algoritmos de processamento de imagem de forma apropriada e;
- 3) modelar numa base de conhecimento o raciocínio aplicado pelo foto-intérprete.