

CAPÍTULO 3

Comportamento Espectral dos Alvos

1.0. Introdução

Corpos terrestres quando observados com sensores remotos apresentam aparência que depende da relação deles com a energia incidente. Eles recebem e emitem energia, interagindo com outros corpos de maneiras complexas.

As principais propriedades dos corpos são:

- + Temperatura (coeficiente de absorvidade);
- + Coeficientes de emissividade, transmissividade e refletividade;

Já as propriedades importantes da energia são:

- + Quantidade e qualidade (comprimento de onda).

As propriedades dos corpos dependem muito da aparência física (**volume, forma, estrutura da sua superfície**) e do **ângulo** do qual é observado pelo sensor.

A complexidade das interações é aumentada se as propriedades espectrais dos corpos **mudam com a passagem do tempo**; isto é assim tratando-se de organismos vivos; estes apresentam diferentes estágios de crescimento e desenvolvimento produzindo alterações na aparência física e às vezes na composição material. Objetos **inanimados** têm propriedades espectrais mais estáveis, mas uma simples chuva, por exemplo, pode alterá-las.

Concluí-se então que as propriedades espectrais dos corpos podem mudar freqüentemente, muitas vezes de maneiras não previsíveis.

2.0. Propriedades espectrais das plantas superiores

As propriedades espectrais das plantas superiores dependem da:

- **Morfologia das folhas;**
- **Estrutura interna das folhas;**

- **Composição química;**
- **Estado fisiológico;**
- **Geometria das plantas (disposição espacial);**
- **Etapa de crescimento ou de desenvolvimento na qual encontra práticas culturais;**
- **Condições climáticas antes e durante o ciclo de vida das plantas.**

As folhas absorvem, refletem e transmitem as radiações incidentes seguindo o padrão das células pigmentadas que contêm soluções aquosas.

A refletividade das folhas (plantas superiores) é atribuída à estrutura interna das mesmas.

- **Teoria de WILLSTATE & STOLL (1918):** baseia-se na reflexão crítica da r.e.m. nas paredes celulares (**reflexão especular**) (Figura 1):

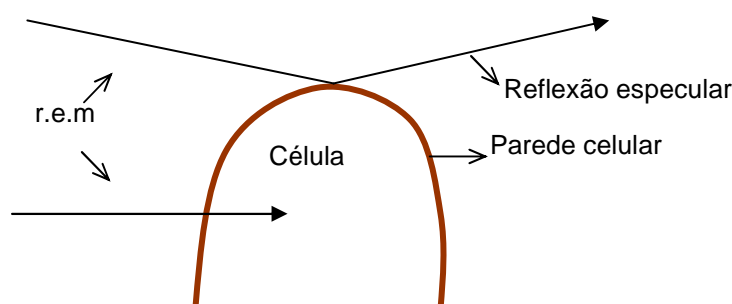


Figura 1. Esquema da teoria de WILLSTATER & STOLL.

Observação:

- ❖ **Cutícula:** difunde bastante e reflete pouco;
- ❖ **Tecido palicádico:** contém pigmentos (**clorofila**) e absorve as radiações visíveis;
- ❖ **Mesófilo esponjoso:** têm muitos **espaços inter-celulares** os quais refletem r.e.m. Nele acontecem trocas entre **O₂** e **CO₂** (**fotossíntese** e **respiração**).
- **Teoria de SINCLAIR:** a refletividade no **IV próximo (0,7 – 1,3 μm)** está relacionada com o número de espaços de ar existentes entre células. A refletividade é maior quanto maior é o número de espaços de ar porque as r.e.m. passam com maior frequência das partes da folha

que tem alto índice de refração para aquelas partes que têm baixo índice de refração (Figura 2).

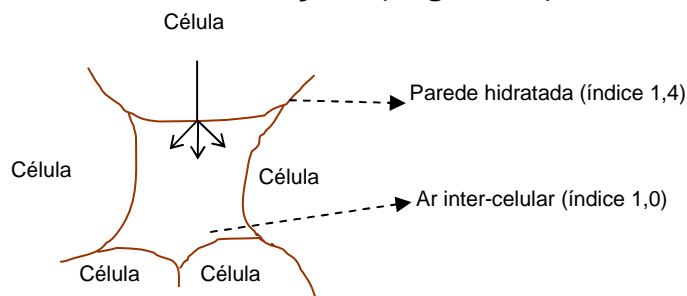


Figura 2. Esquema da teoria de SINCLAIR.

A r.e.m. atinge a parede celular e é difundida em todas direções na cavidade inter-celular.

Exemplo: As folhas de algodão durante o ciclo vital aumenta o número de espaços de ar, aumenta a refletividade e diminui a transmissão.

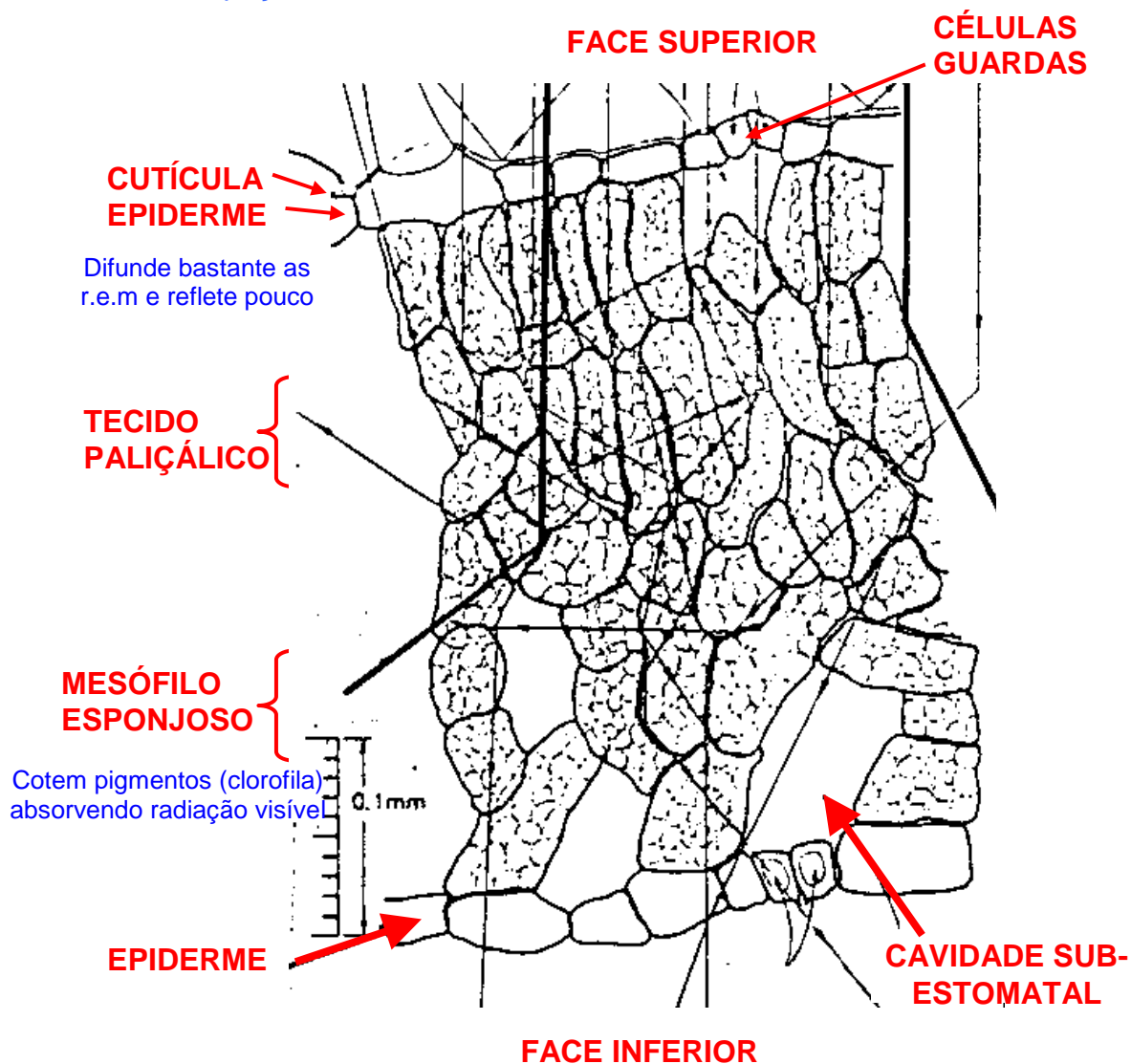


Figura 3. Seção transversal de uma folha mostrando possíveis trajetórias das radiações eletromagnéticas (GATES, 1970).

No VIS, o comportamento da reflexão é determinado pela **clorofila**, cuja **absorção** encontra-se no intervalo da luz azul (0,4 - 0,5 μm) e da luz vermelha (0,6 - 0,7 μm); enquanto **reflete** no intervalo da luz verde (0,5 - 0,6 μm). A radiação incidente atravessa, quase sem perda, a **cutícula e a epiderme**, onde as radiações correspondentes ao **vermelho e ao azul** são **absorvidas pelos pigmentos do mesófilo**, assim como pelos **carotenóides, xantófilas, e antocianidas**, que causam uma reflexão característica baixa nos comprimentos de onda supracitados. As **clorofilas A e B** regulam o comportamento espectral da vegetação e o fazem de maneira mais significativa em comparação com outros pigmentos. **A clorofila absorve a luz verde só em pequena quantidade, por isso a reflectância é maior no intervalo da luz verde, o que é responsável pela cor verde das folhas para a visão humana** (Figura 4).

A Figura 5 mostra a curva de reflectância de diferentes culturas.



Figura 4. Refletividade espectral de uma folha verde e a capacidade de absorção de água e refletividade, absorvidade e transmissividade numa folha verde para a radiação no VIS e NIR.

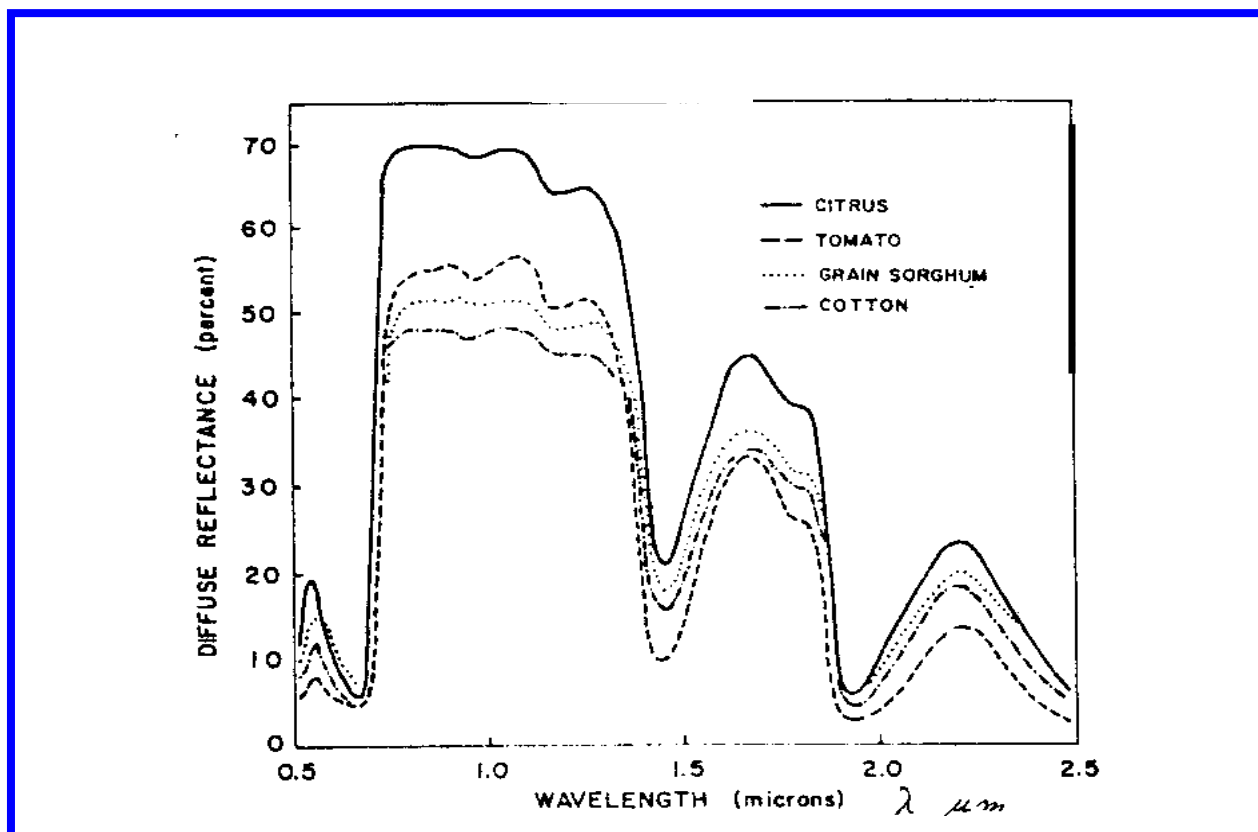


Figura 5. Curva de reflectância de diferentes culturas.

No **NIR (0,7 - 1,3 μm)**, dependendo do tipo de planta, a radiação é refletida em uma proporção de **30 a 70%** dos raios incidentes, ainda que as superfícies das folhas e os pigmentos sejam transparentes para esses comprimentos de onda. Todavia, os sistemas pigmentais das plantas perdem a capacidade de absorver fótons nesse espectro, que é caracterizado por uma subida acentuada da curva de reflexão. O mínimo de reflexão neste comprimento de onda é causado pela mudança do índice de refração nas áreas frontais de ar/célula do mesófilo.

Nos comprimentos de ondas **acima de 1,3 μm** , o conteúdo de água das folhas influencia a interação com a radiação. A **água dentro da folha** absorve especialmente nas bandas em torno de **1,45 mm e 1,96 mm**. Esta influência aumenta com o conteúdo de água. Uma folha verde caracteriza-se, nestas bandas, pela reflexão semelhante a de uma película de água. **Por isso, estes comprimentos de onda, prestam-se à determinação do conteúdo hídrico das folhas.** Folhas com conteúdo hídrico

reduzido são caracterizadas por uma maior reflexão. A curva espectral depende do tipo de planta e, mais ainda, altera-se em função da estrutura e da organização celular.

3.0. Propriedades espectrais dos solos

As curvas espectrais dos solos sem vegetação apresentam, no intervalo espectral correspondente ao **azul**, **valores de reflexão baixos**, os quais aumentam continuamente em direção da **luz vermelha**, do **NIR** e do **MIR** ("mid infrared"). Por isso, as características de solos puros podem ser analisadas nestas bandas. Os parâmetros constantes, como **tipo de mineral, granulação e conteúdo de material orgânico**, assim como os **parâmetros variáveis**, como umidade do solo e rugosidade de superfície, influenciam a resposta espectral. Deve-se ressaltar a existência de elevada correlação entre os parâmetros constantes e os variáveis.

Uma **alta umidade do solo** é caracterizada, em todos os comprimentos de onda, por valores baixos de reflexão, pois o índice de refração nas áreas frontais da interface **água/partícula é menor que o índice de refração nessas áreas em solos secos**. Em aerofotos e imagens de satélite, os solos úmidos são caracterizados por tons de cinza mais escuros, o que significa uma reflectividade menor (Figura 6).

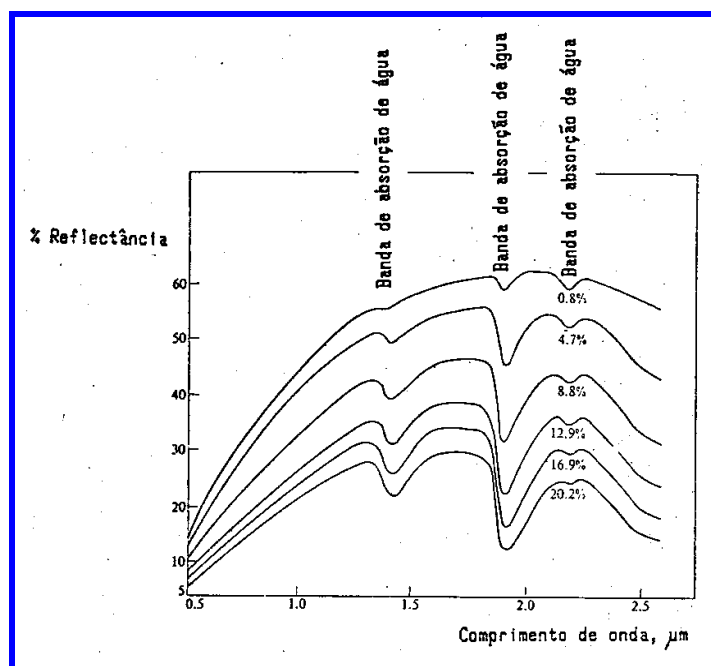


Figura 6. Curvas de reflectância de um mesmo solo com diferentes conteúdos de umidade.

No entender de Wittje (1979), as faixas de absorção da água (1,4 mm e 1,9 mm) servem para determinar a quantidade de água no solo. As bandas de absorção da água nas curvas espectrais dos solos úmidos são diferentes daquelas nas curvas dos mesmos solos no estado seco (Figura 7).

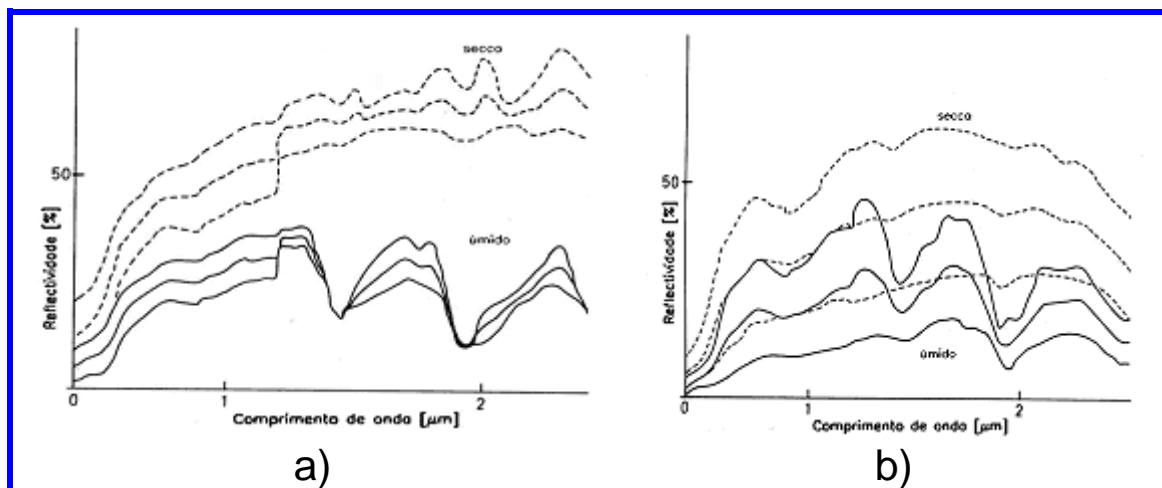


Figura 7. Refletividade de um solo argiloso (a) e um solo de arenoso (b) no VIS, NIR e MIR em dependência da umidade (Fonte: Kronberg, 1984, p. 50; Lowe, 1969).

As curvas de reflectância dos solos apresentam grandes contrastes entre 0,25 e 2,5 μm , responsáveis por tonalidades nas imagens.

As curvas diferem consideravelmente (não existe um único tipo como nos vegetais) (Figura 8).

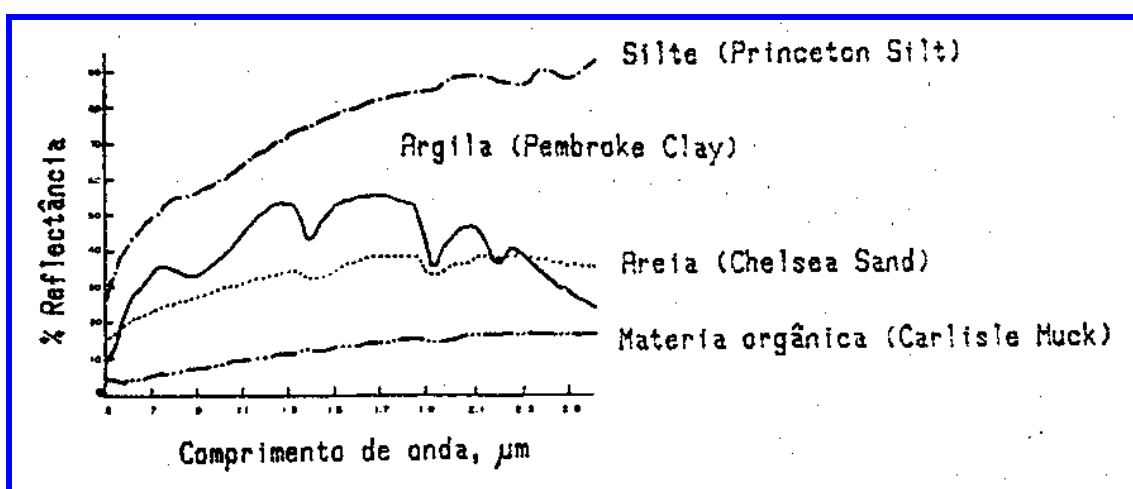


Figura 8. Solos com aproximadamente a mesma umidade, mas com diferente textura.

As bandas produzidas pela absorção a cargo da água às vezes estão presentes nas curvas (1,45 – 1,95 e 2,20 μm).

As propriedades dos solos que influenciam na refletividade ou emissividade são:

- Conteúdo mineral;
- Tamanho dos agregados;
- Textura;
- Cor;
- Conteúdo de matéria orgânica;
- Conteúdo de óxidos de ferro;
- Estrutura;
- Propriedades para a polarização das radiações eletromagnéticas.

a) Conteúdo mineral: a matéria reflete as r.e.m que recebe, em função de vibrações intermoleculares superficiais. A região espectral ótima para identificação de minerais está compreendida entre 8 e 14 μm (nesta porção do espectro acontece a vibração fundamental devida às uniões de átomos de silício e oxigênio).

A refletividade dos minerais a nível macromolecular é afetada por:

- Rugosidade da superfície do mineral;
- Tamanho dos agregados formados pelo mineral;
- Película de água que as vezes recobre os agregados (precipitações, orvalho, etc.);
- Descontinuidades físicas existentes entre os agregados;
- Presença de contaminantes (poeira, outros minerais, etc.).

Carbonatos, sulfatos, nitratos e silicatos apresentam curvas características no IV; em estado relativamente puro, eles podem ser facilmente identificados usando imagens. Outros minerais são mais facilmente identificados quando imageados na região do UV.

Comparando curvas de reflectância com curvas padronizadas armazenadas em computador, as vezes, é possível determinar a composição química geral dos solos.

b) Tamanho dos agregados: ORLOV (1966) observou em laboratório que aumentando-se o diâmetro dos agregados, ocorre um decréscimo da refletividade, gerando a seguinte equação:

$$R = k \cdot 10^{-\eta d} + R_{\infty}$$

Em que,

R = refletividade (%);

K = diferença entre frações finas e grossas;

n = mudança no agrupamento quando os agregados vão sendo mais grossos;

R_{∞} = refletividade infinita.

Para cada solo são obtidos curvas semelhantes indicando que o fator determinante da refletividade é os diâmetros dos agregados e não suas composição química (Figura 9 e 10).

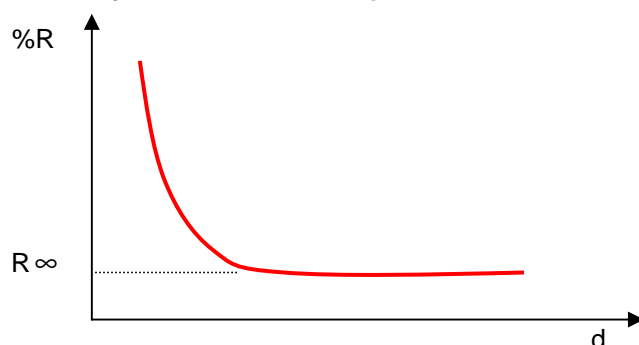


Figura 9. Relação entre refletividade e diâmetro dos agregados.

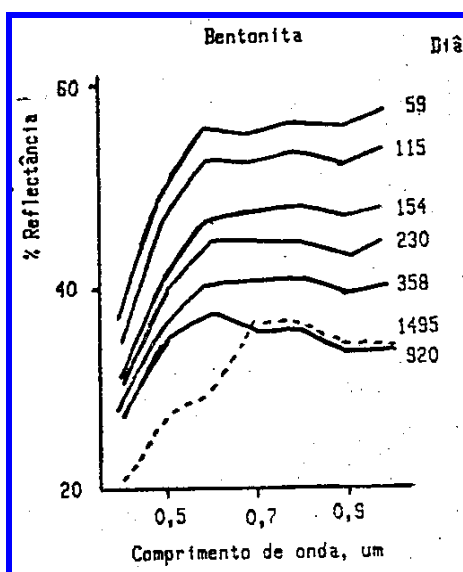


Figura 10. Relação entre diâmetro dos agregados e reflectância.

c) Cor do solo: as regiões vermelha e IV próxima são mais favoráveis para a descrição qualitativa e quantitativa dos solos.

d) Conteúdo de matéria orgânica e de óxido de ferro: influenciam a cor do solo, mas os efeitos mudam consideravelmente segundo condições climáticas e de manejo do solo. Os óxidos e os hidróxidos de ferro reduzem a reflexão na banda do azul e aumentam no intervalo espectral do verde ao NIR. Os valores de reflexão da hematita diferem dessa regra: a reflexão diminui no NIR e especialmente no MIR (Figura 11). Uma grande parte das substâncias orgânicas reduz a refletividade dos solos, especialmente nos comprimentos de onda acima de 0,6 mm.

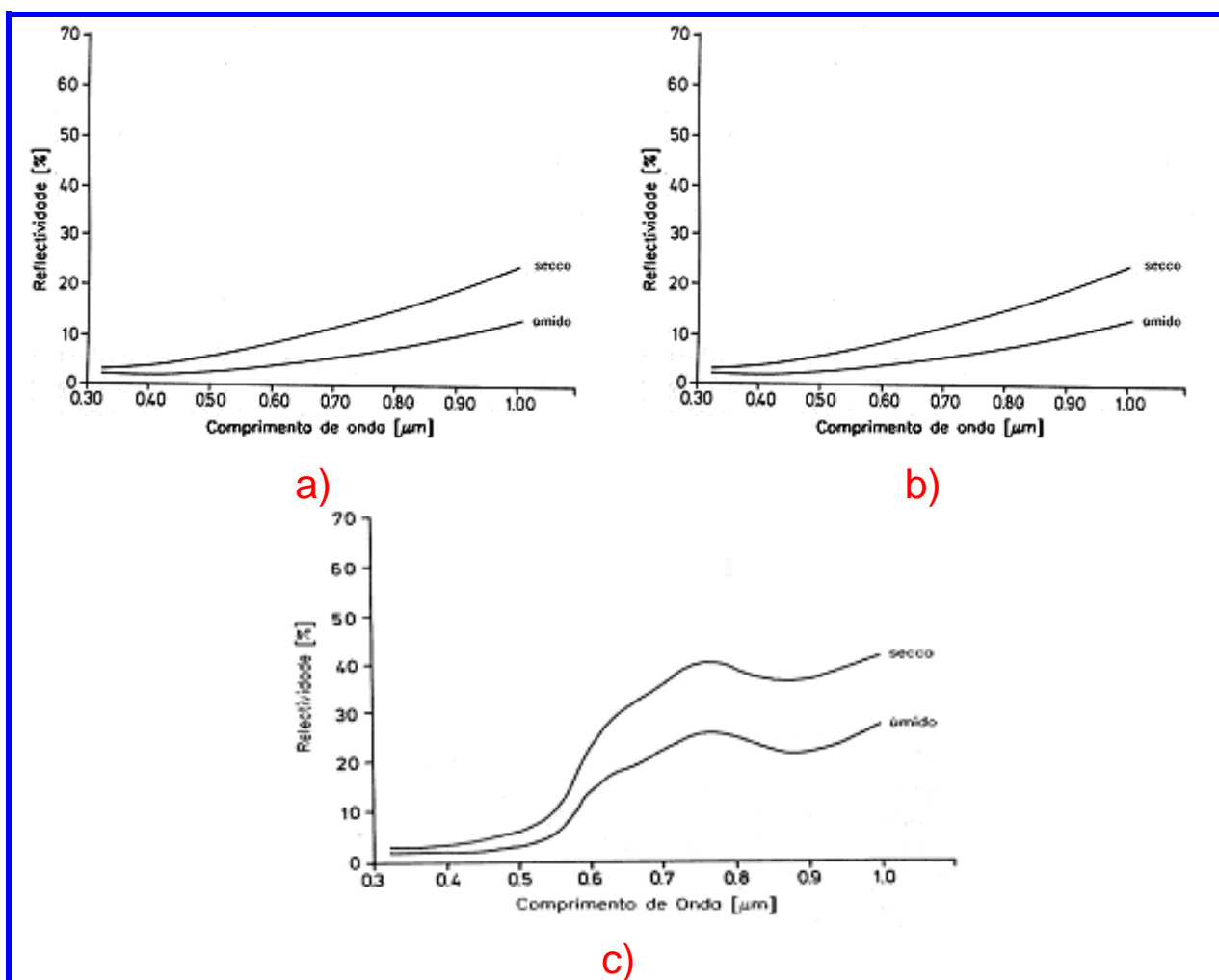


Figura 11. Refletividade de um solo chernozêmico (a), um solo argiloso (b) e um solo laterítico (c) no VIS e NIR em função da umidade (Fonte: Kronberg, 1984, p.38; Condit, 1970).

O conteúdo de matéria orgânica produz efeitos:

- Na cor;
- Na capacidade para retenção de água;
- Na capacidade para troca de cátions;
- Na estrutura;
- Na probabilidade de ocorrência de erosão.

Uma estimativa fácil e rápida deste parâmetro pode ser de grande utilidade para a classificação dos solos e o planejamento de uso da terra. **OBUKHOV & ORLOV (1964)** propuseram a seguinte equação (Figura 12):

$$R = 84 - 4,9 \cdot C$$

Em que,

R = reflectância (%) medida a $0,64 \mu\text{m}$, inversamente proporcional ao conteúdo de ferro;

C = conteúdo de Fe_2O_3 (%).

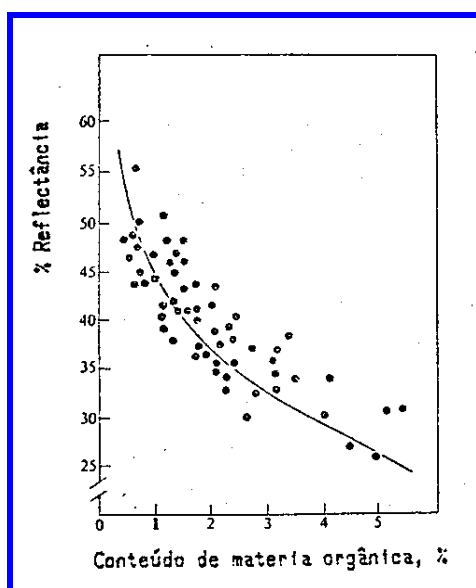


Figura 12. Relação entre Reflectância e conteúdo de matéria orgânica.

4.0. Propriedades espectrais da água

Lagos, rios, oceanos, etc., são relativamente fáceis de serem identificados nas imagens. Estes corpos são identificados para a realização de estudos hidrológicos e para a preparação de mapas ou interpretação de imagens (eles são usados como referências que permitem localizar outros corpos ou feições).

A refletividade da água, medida em comprimentos de onda relativamente pequenos permite identificar poluentes. O plancton e outros tipos de vegetais e organismos alteram a natureza da refletividade da água (quando estão presentes acima da superfície da água alteram a refletividade em todos os comprimentos de onda; quando estão presentes abaixo da superfície, afetam somente os comprimentos de onda menores).

A profundidade das águas pode ser determinada mediante imagens obtidas entre 0,5 e 0,58 μm . Nesta região do espectro das r.e.m. é menor o coeficiente de extinção (atenuação) das radiações por metro de profundidade, segundo mostra a Figura 13.

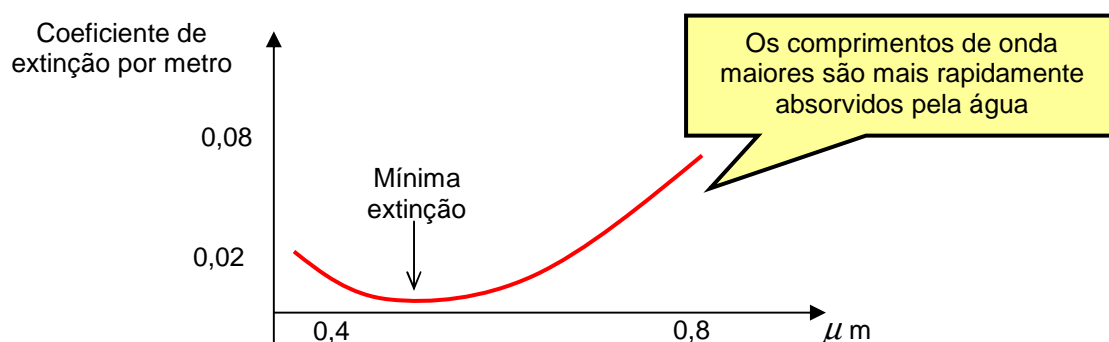


Figura 13. Relação entre o coeficiente de extinção por metro e comprimento de onda.

5.0. Propriedades espectrais do concreto

A refletividade do concreto é de 20% a 0,4 μm e é de 40% de 0,5 a 0,6 μm (nesta última região, os vegetais refletem aproximadamente 20%, de modo que resulta fácil identificar cidades, pequenos povoados e ainda grandes prédios rodeados de vegetação).

6.0. Propriedades espectrais do asfalto

O asfalto, uma vez identificado, permite a localização de outras feições. Ele apresenta grande refletividade na região do ultravioleta e no azul da região visível.