

SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DA VEGETAÇÃO

BREVE REVISÃO

Véra Beatriz Köhler Batres*

RESUMO. Este artigo objetiva apresentar alguns detalhes e particularidades do sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação: recurso renovável, de significado paisagístico e expressão econômica, mas sobretudo elemento integrante da maioria dos ecossistemas terrestres. Através do sensoriamento remoto, pode-se estimar e avaliar a cobertura vegetal tanto de áreas urbanas como rurais, além de possibilitar o registro de alterações qualitativas ou quantitativas da mesma, pela própria periodicidade das imagens. Os aspectos acima focalizados que motivam, em especial, o presente trabalho apresentam a seguinte estrutura: propriedades espectrais das plantas; aspectos reflectância, absortância e transmitância da folha; exemplos de aplicações do sensoriamento atinentes ao estudo da vegetação; a vegetação como parte de um todo.

Palavras-chave: vegetação, sensoriamento remoto, propriedades espectrais, aplicações.

REMOTE SENSING IN VEGETATION STUDY

ABSTRACT. The aim of the present article is to detail some peculiarities of remote sensing applied to the study of vegetation as a renewable resource of landscape significance and economic importance, but especially as a constituent of most ecosystems. Remote sensing is a proper device to estimate both urban and countryside vegetation covering and register its qualitative and quantitative alterations through image periodicity. The following aspects are of special interest in this study: plant spectral features; leaf reflectance, absorptance and transmittance properties; example of remote sensing applied to vegetation study and vegetation as a constituent.

Key words: vegetation, remote sensing, spectral properties, application.

Na primeira parte do trabalho, optou-se por apresentar as propriedades espectrais das folhas como um dos elementos chave na interpretação de imagens no estudo da cobertura vegetal. Na etapa seguinte, arrolaram-se algumas pesquisas que utilizaram o sensoriamento remoto no estudo da vegetação, em diferentes ramos da ciência. O caminho escolhido para desenvolver a temática foi a revisão bibliográfica.

1. PROPRIEDADES ESPECTRAIS DAS PLANTAS

As propriedades espectrais das plantas podem ser representadas pela reflectância hemisférica. Estes coeficientes dependem da composição, morfologia, estrutura interna, estado de maturidade e temperatura da planta; comprimento de onda e

* Docente do Departamento de Geografia da Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, Campus Universitário, 87 020-900, Maringá – Paraná, Brasil.

condições de umidade. A reflectância tem sido considerada importante em estudos por sensoriamento remoto.

Para analisar as propriedades espectrais de uma folha se faz necessário o entendimento de sua estrutura e dos processos básicos de fotossíntese e respiração (KUMAR, 1972). As estruturas das células das folhas são variáveis, dependendo da espécie e das condições ambientais.

Pode-se observar a seguinte estrutura em um corte transversal de uma folha, Figura 1.

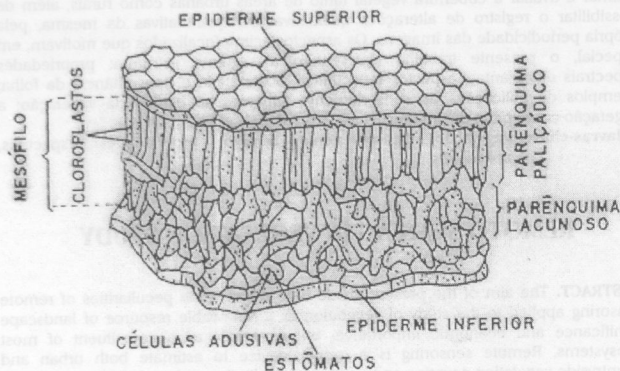


Figura 1. Corte transversal de uma folha, mostrando sua estrutura.

Uma folha típica é constituída pela epiderme, camada de células protetoras; pelo mesófilo fotossintético o qual freqüentemente é subdividido em camada(s) de células palicádicas, perpendiculares à superfície da folha. No parênquima, acumula-se a seiva e o protoplasma. Esparsos através do mesófilo estão os espaços intercelulares com ar, os quais se abrem para fora através dos estômatos e formam uma rede para o acesso do CO_2 que atinge as células fotossintéticas e na qual se libera o O_2 , na fotossíntese para a atmosfera. A rede de tecidos condutivos constitui também a passagem por onde fluem os produtos da fotossíntese, para as demais partes da planta.

A estrutura celular da folha é grande, quando comparada com os comprimentos de onda de luz. As dimensões típicas das células palicádicas, do parênquima esponjoso e células epidérmicas são: $15\mu \times 15\mu \times 60\mu$, $18\mu \times 15\mu \times 20\mu$ e $18\mu \times 15\mu \times 20\mu$ respectivamente. A camada impermeável tem espessura muito variável, oscilando entre 3μ a 5μ . Os cloroplastos suspensos no protoplasma tem geralmente 5μ a 8μ de diâmetro e cerca de 1μ de comprimento.

Aproximadamente, 50 cloroplastos podem estar presentes em cada célula do parênquima. Dentro dos cloroplastos estão os grana e dentro destes encontram-se a clorofila. Os grana podem ter 0.5μ de comprimento e 0.5μ de diâmetro.

Os constituintes da folha considerados mais importantes sob o ponto de vista da interação com a radiação são: celulose, solutos (íons moléculas), espaços intercelulares e pigmentos existentes dentro dos cloroplastos (PONZONI, 1990).

1.1. Aspectos sobre reflectância, absortância e transmitância de uma folha

AMARAL (1991a) expõe as relações entre reflectância (ρ), absortância (α) e transmitância (J) e assevera que todas essas variáveis dependem do comprimento de onda (λ).

As propriedades espectrais de uma folha são função da composição, morfologia e estrutura interna além de variar com a idade. A energia incidente sobre uma folha toma múltiplos caminhos como mostra a Figura 2. Pequena quantidade de luz é refletida das células da camada superior; a maior parte é transmitida para o mesófilo do qual parte dos raios é refletida de volta à fonte de luz enquanto outros são transmitidos através da folha.

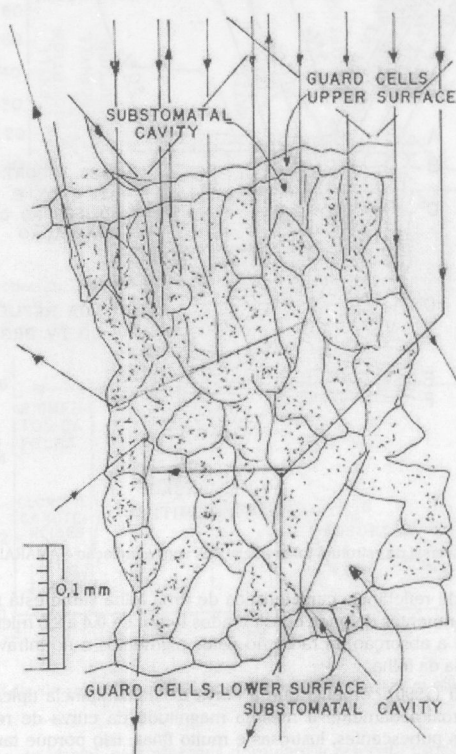


Figura 2. Secção transversal de uma folha mostrando os possíveis caminhos da luz incidente. Gates, 1971 (apud PONZONI, 1990).

AMARAL (1990) apresenta um corte transversal da estrutura microscópica foliar com dados da radiação incidente, refletida e transmitida. Assinala a área do parênquima paliádico com absorção importante no infravermelho próximo, enquanto a área do parênquima lacunar com boa reflexão para a mesma região do espectro. Figura 3.

- A - Cutícula
- B - Epiderme superior
- C - Parênquima paliçádico-cloroplastos
- D - Parênquima lacunar
- E - Estômatos e epiderme inferior
- F - Cutícula

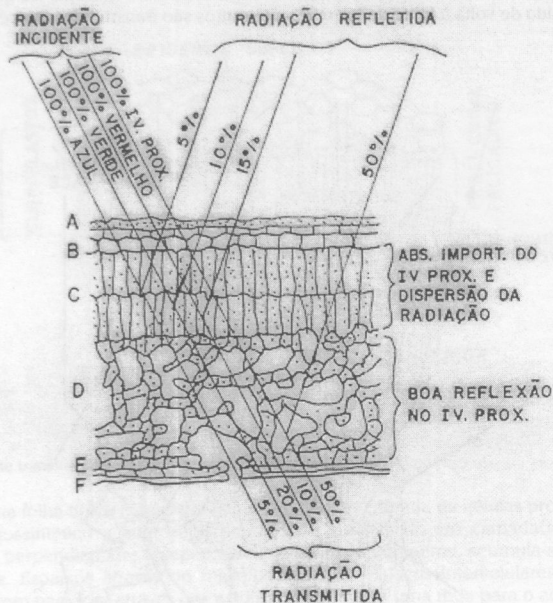


Figura 3. Corte transversal da estrutura foliar e relações com a radiação – AMARAL (1991).

A curva de refletância característica de uma folha verde está representada pela Figura 4. Os comprimentos de onda considerados foram de 0.4 a 2.6 microns. Na região do visível, destaca-se a absorção da radiação pelos pigmentos e no infravermelho médio a absorção pela água da folha.

PONZONI (1990) comenta que a curva de transmitância típica de uma folha é similar e tem aproximadamente a mesma magnitude da curva de reflectância, típica, exceto para folhas pubescentes, lustrosas e muito finas. Isto porque tanto a reflectância, quanto a transmitância são espalhadas pelas bordaduras internas.

NOVO (1989) referindo-se à curva de reflectância, apresenta a curva espectral média da vegetação fotossinteticamente ativa, Figura 5. Analisando-a, ele a decompõe em três regiões espectrais, em função dos fatores que condicionam seu comportamento: a) até 0.7 μ m, a reflectância é baixa (< 0.2), dominando a absorção da radiação incidente pelos pigmentos da planta em 0.48 μ m (carotenóides) e em 0.62 μ m (clorofila). Em 0.56 μ m, há um pequeno aumento do coeficiente de reflectância não atingindo, porém, níveis superiores a 0.1. É a reflectância responsável pela percepção da cor verde da vegetação; b) de 0.7 μ m a 1.3 μ m, tem-se a região denominada pela alta reflectância da vegetação (0.3 < p < 0.4), devido à interferência da estrutura celular; c) entre 1.3 μ m e 2.5 μ m, a

reflectância da vegetação é dominada pelo conteúdo de água das folhas. Nessa região encontram-se dois máximos de absorção pela água: em $1.4\mu\text{m}$ e $1.95\mu\text{m}$. A esta região correspondem também as bandas de absorção atmosférica; por isso os sensores desenvolvidos têm suas faixas espectrais deslocadas para regiões sujeitas à atenuação atmosférica.

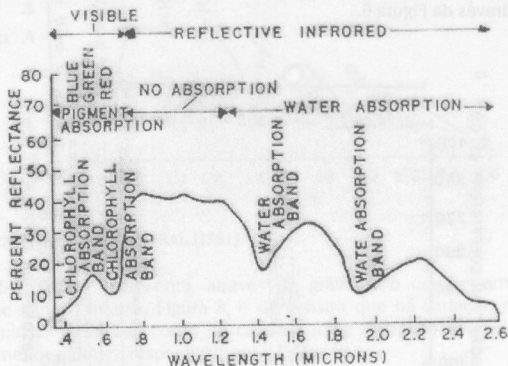


Figura 4. Curva de reflectância típica de uma folha verde KUMAR (1972)

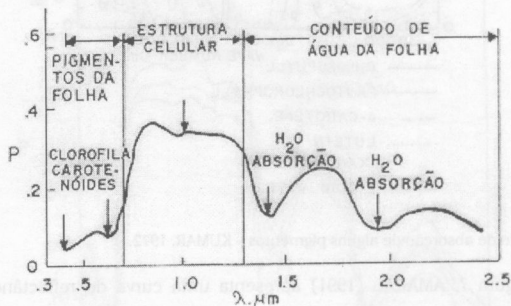


Figura 5. Curva média da vegetação fotossinteticamente ativa. Bowker et alii, 1985 (apud NOVO, 1989).

Na região do visível, os pigmentos dominam a resposta espectral das folhas. Os pigmentos geralmente encontrados nos cloroplastos são clorofila, carotenos e xantofilas em percentuais variáveis.

Em estudos realizados por Shulglin e Keshnin, 1959 (apud KUMAR, 1972) verificam que a absorção da energia radiante na região de 0.55μ a 0.67μ aumenta proporcionalmente com o aumento da clorofila.

Os coratenóides são amarelos, laranja ou vermelhos presentes nas folhas; ao grupo dos coratenos relaciona-se a mudança de cor que ocorre nas folhas, especialmente, no outono ou nos frutos em amadurecimento.

Os xantofilas são pigmentos amarelos com átomos de oxigênio; o principal componente dos xantofilas de muitas folhas é o "luteim".

A energia radiante interage com a estrutura foliar por absorção e por espalhamento. A energia é absorvida seletivamente a certos comprimentos de onda pela clorofila, é convertida em calor ou fluorescência e transformada fotoquimicamente em energia estocada na forma de componentes orgânicos através da fotossíntese, assinala PONZONI (1990). O espectro de absorção da clorofila, carotene, xantofila e água líquida evidencia-se através da Figura 6.

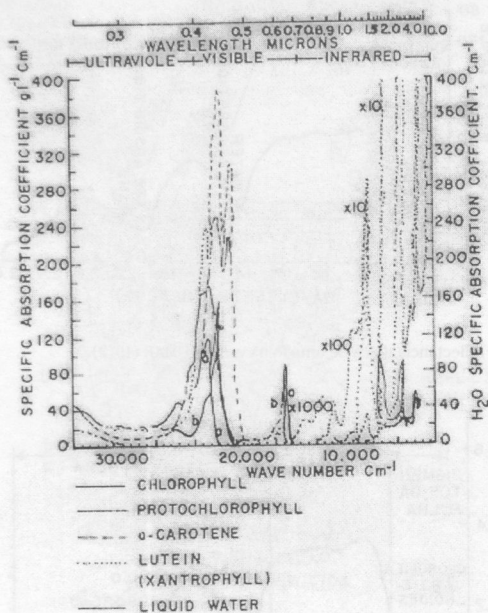


Figura 6. Espectro de absorção de alguns pigmentos – KUMAR, 1972.

Na Figura 7, AMARAL (1991) apresenta uma curva de reflectância foliar, e a interpreta:

0.35 – 0.50 μm - forte absorção pelos coratenos, clorofila e xantofilas.

0.50 – 0.60 μm - fraca absorção, refletividade mais elevada (cor verde).

0.60 – 0.70 μm - forte absorção pela clorofila.

> - 0.75 μm - alta refletividade em função da estrutura do parênquima lacunar.

O referido autor também arrola os fatores que podem afetar:

- Cor, posição, exposição, inclinação da folha;
- Condições fisiológicas : teor d'água (estação do ano), idade, doença, estresse (solo);
- Características geométricas e espectrais do sensor.

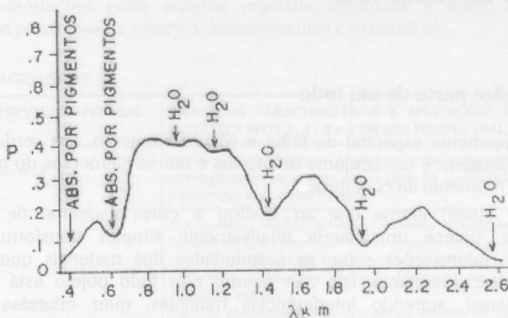


Figura 7. Curva de reflectância - AMARAL (1991).

AMARAL (1991) representa, através de gráficos, o comportamento espectral diferenciado de várias culturas, Figura 8, e demonstra que há variação de reflectância, alterando a umidade na folha; como no caso da folha de milho verde e seca, onde a reflectância é menor e maior, respectivamente, Figura 8a.

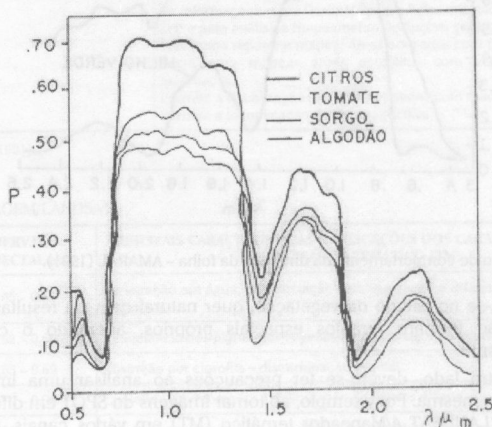


Figura 8. Comportamento espectral de diferentes culturas- AMARAL (1991).

Em resumo, denota-se através dos autores consultados que os aspectos mais importantes relativos às propriedades espectrais das folhas, na região do visível, referem-se aos pigmentos; no infravermelho próximo, a estrutura foliar e, no infravermelho médio, o conteúdo d'água na folha.

2. EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DO SENSORIAMENTO ATINENTES AO ESTUDO DA VEGETAÇÃO

2.1. A vegetação: parte de um todo

O componente espectral da folha é só um elemento. Em verdade, o que se percebe numa imagem é um conjunto de plantas e outros elementos do meio, gravados pelo sensor, no momento da cobertura.

NOVO (1989) afirma que ao analisar a curva espectral de cada objeto, individualmente, parece uma tarefa relativamente simples transformar dados de reflectância em informações sobre as propriedades dos materiais que compõem a superfície terrestre. Entretanto, isto não ocorre, pois todo objeto está inserido num contexto ambiental, sofrendo interferências múltiplas, quer oriundas dos objetos adjacentes, quer oriundas do próprio dinamismo interno de suas características.

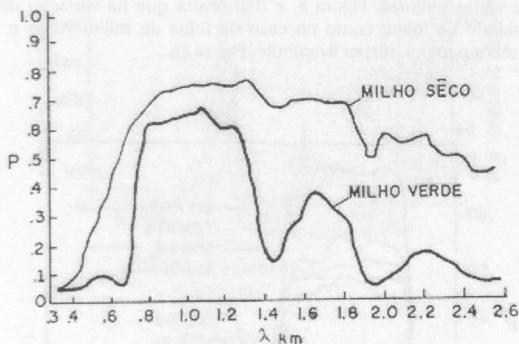


Figura 8a. Variação de comportamento da umidade da folha – AMARAL (1991).

Verifica-se no estudo da vegetação, quer natural quer na resultante de práticas culturais, que se formam arranjos espaciais próprios, alterando o comportamento espectral da mesma.

Por outro lado, devem-se ter precauções ao analisar uma imagem dada a complexidade da mesma. Por exemplo, ao tomar imagens do SPOT em diferentes bandas ou imagens do LANDSAT 4/Mapeador temático (MT) em vários canais, com intervalos espectrais específicos, têm-se características inerentes a cada um; as quais estão apresentadas nos Quadros 1 e 2, sendo grifadas as características e aplicações atinentes à vegetação.

2.2. Aplicações

A vegetação pode ser objeto de estudo de vários ramos da ciência, evidentemente, com fins específicos, dentre eles a Agronomia, Silvicultura, Botânica, Geografia... que se têm utilizado do Sensoriamento Remoto como apoio.

Na Agricultura, o uso do sensoriamento remoto tem proporcionado: o controle da evolução vegetativa das culturas anuais e perenes, com vistas à previsão de safras; o estudo das correlações entre aspecto vegetativo-fertilidade e solos; a detecção e delimitação de patologias de vegetais; levantamentos cadastrais etc.

QUADRO 1. IMAGEM/SPOT

BANDA	INTERVALO ESPECTRAL	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DAS BANDAS DOS SATÉLITES SPOT 1, 2 - 3 e 4 EM MULTIESPECTRAL.
XS1	0.50 - 0.59	Apresenta sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
XS2	0.61 - 0.68	A vegetação verde, densa e uniforme apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação e aquelas sem vegetação (ex.: solo exposto, estradas...). Permite a análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite mapeamento da drenagem, através da visualização da mata galeria dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
XS3	0.79 - 0.89	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem claras nas imagens. Apresenta sensibilidade a rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade a morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinus e eucalipto. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrofitas aquáticas. Permite a identificação de áreas agrícolas.

DADOS: MARTIN (1991)

QUADRO 2. IMAGEM/LANDSAT

CANAL	INTERVALO ESPECTRAL μm	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DOS CANAIS DO LANDSAT - 4/ MAPEADOR TEMÁTICO (TM)
1	0.45 - 0.52	Penetração em água, diferenciação solo/vegetação e diferenciação flora conífera / decídua.
2	0.52 - 0.60	Reflectância dos pigmentos vegetais (verde) - vigor da vegetação.
3	0.63 - 0.69	Absorção por clorofila - discriminação vegetal.
4	0.76 - 0.90	Conteúdo em biomassa e delimitação de corpos d'água.
5	1.55 - 1.75	Umidade de vegetação e solo. Diferenciação entre neve e nuvens.
6	10.40 - 12.5	IV termal. Estudos de stress em vegetação, umidade do solo e mapeamento termal.
7	2.08 - 2.35	Discriminação de OH em minerais, (micas, argilas, etc.) Estudos de alteração hidrotermal.

DADOS: AMARAL (1991)

Para a Silvicultura, muito tem servido nos inventários florestais (naturais e artificiais); na detecção e controle de doenças em áreas florestais; no planejamento e manejo de reservas florestais; no controle da exploração vegetal.

Na Botânica a utilização desta tecnologia tem servido em estudos fitogeográficos, mapeamentos etc.

Enquanto na Geografia, tem sido empregada no inventário de uso da terra e seu monitoramento; nos estudos de Biogeografia, de Hidrogeografia, dentre outros.

Também estudos indiretos podem ser feitos através do reconhecimento de determinada vegetação, inferindo-se outros elementos do meio a ela articulados, por exemplo, no caso da Geobotânica.

De acordo com NOVO (1989), entre as aplicações mais ambiciosas do Sensoriamento Remoto, no campo da Agronomia, está a previsão de safras. Entre 1974 e 1978, a National Aeronautics and Space Administration (Nasa) e o United States Department of Agriculture (Usda) desenvolveram um grande projeto denominado Large Area Crops Experiment (Lace), com objetivo de monitorar a cultura do trigo nas principais áreas produtoras do mundo. A partir desse experimento, pode-se concluir que os dados de Sensoriamento fornecem pelo menos dois tipos de informações úteis a safras: áreas de cultura e tipo prováveis de cultura.

PEREIRA *et al.* (1989) apresentam um estudo sobre a cobertura e o uso da terra, através de Sensoriamento Remoto, no qual enfatiza o monitoramento de uso da terra através de sensoriamento bem como metodologias para o mapeamento de cobertura. Descreve as metodologias por interpretação visual e por classificação digital.

No trabalho de SANTOS *et al.* (1978) utilizando dados do MSS-LANDSAT avaliam a degradação das pastagens implantadas na Amazônia; distinguem tipos de degradação dos pastos e, por processamento digital, estimam a área respectiva aos tipos de pastagem.

PEREIRA *et al.* (1991) fazendo uso de imagens obtidas por satélite evidenciam método de estimativa da área ocupada pela vegetação emersa flutuante do reservatório Rio das Pedras – SP., colaborando em estudos de reservatórios ou lagos com problemas de eutrofização.

HERNANDEZ F. *et al.* (1991) expõem os resultados de uma pesquisa que tem como objetivo promover a integração de dados topográficos e de sensoriamento remoto para estudos de florestas tropicais, fornecendo informações importantes para planejadores e gerenciadore de recursos florestais.

Estas representam apenas algumas aplicações de Sensoriamento Remoto em Agronomia, Silvicultura, Geografia,... avaliando a vegetação sob diferentes prismas.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se o Sensoriamento Remoto como um apoio técnico às pesquisas do meio ambiente, como evidenciado no presente trabalho, apenas por um dos seus elementos integrantes: **A VEGETAÇÃO.**

Cada vez mais equipes inter e/ou multidisciplinares tem se utilizado de imagens de satélite para interpretar a realidade de uma região e sempre que possível, periodicamente.

Além de permitir uma avaliação científica da cobertura vegetal, possibilita planejamento, com dados mais precisos, do uso do solo.

NOTA A elaboração deste trabalho constitui parte das atividades programadas da disciplina “Aplicações do Sensoriamento Remoto” ministrada pelo Dr. Gilberto Amaral no Departamento de Engenharia de Transportes – Epusp/ SP.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, G., 1991. **Sensores remotos aplicados em Geociências**. 3 ed. São Paulo: USP/IG.
- AMARAL, G., 1991a. Curso "Aplicações do Sensoriamento Remoto". São Paulo: USP/CPG-Epusp, (Anotações de Aula).
- HERNANDEZ FILHO, P. e SHIMABUKURO, Y.E., 1991. Integração de dados topográficos e de sensoriamento remoto para a classificação de florestas tropicais: caso da Floresta Nacional de Tapajós. **II ENSEPLAN**. Serra Negra – SP.
- KUMAR, R., 1972. Radiation from plants reflection and emission: a review. **Perdue Research Foundation**.
- MARTIN, L., 1991. Spot image / Circular Técnica. São José dos Campos: **Inpe**.
- NOVO, E. M. de., 1989. **Sensoriamento Remoto – Princípios e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher.
- PEREIRA, M. et al., 1989. Cobertura e uso da terra através de Sensoriamento. São José dos Campos: **Inpe**.
- PEREIRA, M.D.B.; Palombo, C.R. e Braghin, P.L., 1991. Método estimativo da área ocupada pela vegetação emersa flutuante do reservatório Rio das Pedras – SP, utilizando imagens obtidas por satélite. **II Enserplan**, Serra Negra – SP.
- PONZONI, F.J., 1990. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo de Recursos Naturais. São José dos Campos: **Inpe**.
- SANTOS, A. P.; NOVO, E.M.L.M. e DUARTE, V., 1978. Avaliação da viabilidade da utilização de dados orbitais na análise da degradação das pastagens com o tempo de implantação no município de Paragominas (PA). **I Simp. Bras. De Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos.

1. INTRODUÇÃO

A percepção do tempo através dos sentidos originados na atmosfera e que refletem na superfície terrestre é tão subjetiva quanto a sua própria percepção do ambiente habitado. Desde os primeiros momentos humana na Terra, o interesse pelo tempo e pelo clima se justifica pela necessidade humana que seus fenômenos, e os aspectos inerentes a eles, possam ser compreendidos e controlados pelo homem.

Devem-se aos gregos as primeiras discussões dos meteorologistas e a história com as posturas teóricas empregadas pelos filósofos antigos que atribuíam aos deuses o controle do tempo. Os filósofos aristotélicos, como Aristóteles e Aristarco, acreditavam que as diferenças regionais e sazonais (as do tempo) só ocorriam da norte para o sul, originando o primeiro pensamento científico, em que dividiam a Terra em zonas quentes, temperadas e frias.

Segundo AYONDE (1959), apenas no século V antes da era cristã, passou-se a adotar uma atitude mais científica para o estudo do tempo, com o surgimento das obras de Hipócrates, autor de "Aire, Agua e Fuego" e de Aristóteles, através de sua "Meteorologia".

Foi na Idade Média, mais ou menos, para que ocorresse, na Europa, com as grandes navegações e explorações geográficas, a sistematização dos conhecimentos científicos relativos ao clima, um processo de melhoria dos elementos do tempo, a partir da invenção dos primeiros termômetros, pluviômetros e outros instrumentos que viam a origem as hoje conhecidas estações meteorológicas, graças à genialidade de Torricelli e Galileo, Bacon e Descartes, entre outros, que construíam os vários aparelhos utilizados na observação e registro dos fenômenos atmosféricos.

Neste período, corroborava-se que as variações climáticas não se restringiam apenas aos climas latitudinais, mas estendiam-se aos locais tropicais, sendo atribuídas