



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-8984-PUD/62

CAPÍTULO 8

SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DA VEGETAÇÃO: DIAGNOSTICANDO A MATA ATLÂNTICA

Flávio Jorge Ponzoni

INPE
São José dos Campos
2002

CAPÍTULO 8

SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DA VEGETAÇÃO: DIAGNOSTICANDO A MATA ATLÂNTICA

Flávio Jorge Ponzoni¹

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE

¹ flavio@ltid.inpe.br

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	8.5
1. INTRODUÇÃO	8-7
2. A RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA E A VEGETAÇÃO	8-8
3. INTERAÇÃO DA REM COM OS DOSSÉIS VEGETAIS	8-12
4. PARTICULARIDADES SOBRE A APARÊNCIA DA VEGETAÇÃO EM IMAGENS ORBITAIS	8-15
5. DIAGNOSTICANDO A MATA ATLÂNTICA	8-17
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	8-27

LISTA DE FIGURAS

1 – SEÇÃO TRANSVERSAL DE UMA FOLHA MOSTRANDO OS POSSÍVEIS CAMINHOS DA LUZ INCIDENTE	8-10
2 – CURVA DE REFLECTÂNCIA TÍPICA DE UMA FOLHA VERDE	8-11
3 – DOMÍNIO DA MATA ATLÂNTICA	8-19
4 – “OVERLAY” SOBRE A IMAGEM E O MAPA PRELIMINAR RESULTANTE DA INTERPRETAÇÃO.....	8.22
5 – CONTORNO DAS CARTA TOPOGRÁFICAS NA ESCALA 1:250.000 SOBRE O DOMÍNIO DA MATA ATLÂNTICA	8-23
6 – COMPOSIÇÕES COLORIDAS UTILIZADAS NOS MAPEAMENTOS DE 1985-90 (A) E 1990-95 (B)	8-25

1. INTRODUÇÃO

Como foi apresentado nos capítulos anteriores, as técnicas de Sensoriamento Remoto se fundamentam em um processo de interação entre a Radiação Eletromagnética e os diferentes objetos que se pretende estudar. A aplicação dessas técnicas é viabilizada através do cumprimento de diversas etapas que incluem a interação em si, caracterizada principalmente pelo fenômeno de reflexão da radiação, a coleta de dados e seu registro através de um sensor e a análise desses dados com o objetivo de extrair as informações pretendidas de um dado objeto.

Assim como para o estudo da maioria dos recursos naturais, a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto para o estudo da vegetação têm quatro diferentes níveis possíveis de coleta de dados: em laboratório, em campo, no nível de aeronave e no nível orbital. Em laboratório, utilizam-se radiômetros aos quais podem ser acoplados acessórios que permitem a coleta e o registro da radiação refletida de folhas e demais órgãos das plantas, bem como de conjuntos de plantas visando identificar possíveis alterações na forma como esses órgãos interagem com a radiação eletromagnética. Em campo, novamente radiômetros são utilizados, os quais são normalmente posicionados a alguns metros acima de um plantio agrícola ou do topo de um dossel florestal com objetivo semelhante àquele mencionado para a análise dos dados coletados em laboratório. No nível de aeronave, diferentes sensores podem ser utilizados concomitantemente na geração de curvas espectrais ou de imagens. Finalmente no nível orbital é que se concentram as aplicações mais comumente divulgadas na comunidade em geral, as quais incluem a geração e utilização de imagens pictóricas na elaboração de mapas temáticos e/ou na avaliação espectral da cobertura vegetal de extensas áreas da superfície terrestre.

Neste capítulo abordamos os princípios que fundamentam os estudos da vegetação através da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto. Adicionalmente apresentamos um exemplo de mapeamento da vegetação no domínio da Mata Atlântica, que vem sendo realizado com bastante sucesso.

2. A RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA E A VEGETAÇÃO

No nível de coleta de dados em laboratório comumente são consideradas as folhas, partes de plantas ou até alguns arranjos de plantas, dos quais são coletados dados radiométricos com o objetivo de caracterizar espectralmente fenômenos e/ou aspectos relacionados ao processo de interação entre a radiação eletromagnética (REM) e a vegetação. Em campo, os dados podem ser coletados diretamente das folhas ou através de dispositivos como plataformas (móveis ou fixas), teleféricos, etc; que permitem a colocação dos sensores imediatamente acima dos dosséis vegetais segundo as mais diferentes disposições. Na coleta de dados em aeronave, estão incluídas as máquinas fotográficas, os radiômetros e os sensores eletro-ópticos, assim como no nível orbital.

A principal motivação dos estudos em vegetação envolvendo a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto, fundamenta-se na compreensão da “aparência” que uma dada cobertura vegetal assume em um determinado produto de sensoriamento remoto, a qual é fruto de um processo complexo que envolve muitos parâmetros e fatores ambientais. Há de se considerar que um dossel é constituído por muitos elementos da própria vegetação, como folhas, galhos, frutos, flores, etc. Um fluxo de radiação incidente sobre qualquer um destes elementos estará sujeito a dois processos: espalhamento e absorção. O processo de espalhamento, por sua vez, pode ser dividido em dois sub-processos: reflexão e transmissão através do elemento. O destino do fluxo radiante incidente sobre um destes elementos é então dependente das características do fluxo (comprimentos de onda, ângulo de incidência e polarização) e das características físico-químicas destes mesmos elementos.

De todos os elementos constituintes da vegetação, a folha constitui o principal deles quando se considera o processo de interação descrito. Para uma melhor compreensão das características de reflectância da REM incidente sobre uma folha é necessário o conhecimento de sua composição química, principalmente tipo e quantidade de pigmentos fotossintetizantes, e de sua morfologia interna (distribuição e quantidade de tecidos, espaços intercelulares, etc). Uma folha típica é constituída de três tecidos básicos que são: epiderme, mesófilo

fotossintético e tecido vascular. A folha é então coberta por uma camada de células protetoras epidérmicas, na qual muitas vezes desenvolve-se uma fina e relativamente impermeável superfície externa. Abaixo da epiderme encontra-se o mesófilo fotossintético, o qual por sua vez é freqüentemente subdividido numa camada ou em camadas de células paliçádicas alongadas, arranjadas perpendicularmente à superfície da folha, que formam o parênquima. As células do parênquima são ocupadas por seiva e protoplasma.

Esparsos através do mesófilo estão os espaços intercelulares cheios de ar, os quais se abrem para fora através dos estômatos. Esta rede de passagens de ar constitui a via de acesso pela qual o CO_2 alcança as células fotossintéticas e o O_2 liberado na fotossíntese retorna à atmosfera externa. Uma terceira característica estrutural da folha é o tecido vascular. A rede de tecidos do sistema vascular não serve somente para suprir a folha com água e nutrientes do solo, mas também constitui a passagem pela qual fluem os produtos da fotossíntese que são produzidos na folha, para as demais partes da planta. As estruturas das células que compõem os três tecidos das folhas são muito variáveis, dependendo da espécie e das condições ambientais.

O comportamento espectral de uma folha é função de sua composição, morfologia e estrutura interna. Desde que as características da folha são geneticamente controladas, existirão portanto diferenças no comportamento espectral entre grupos geneticamente distintos.

Levando em consideração o conceito da reflectância interna numa folha e os conhecimentos do espectro de absorção da clorofila, Willstatter e Stoll (1918), desenvolveram uma teoria sobre a trajetória da REM dentro de uma folha, a qual é válida até hoje. Os autores basearam sua teoria na estrutura interna das folhas e na reflectância potencial das superfícies. Segundo eles, a trajetória da REM se daria ao longo de vários meios, sendo estes compostos pela água, ar, membranas celulares, etc. Um mesmo feixe de radiação poderia passar, por exemplo, através de uma camada de água, que possui um índice de refração de 1,33, e em seguida atravessar um espaço preenchido com ar, que possui um índice de refração igual a 1. Além desta variação nos índices de refração dos

diversos meios a serem atravessados, foi considerado que as células dos tecidos foliares, principalmente do mesófilo esponjoso, possuem uma estrutura irregular, sendo orientada espacialmente sob diversos ângulos. Willstatter e Stoll (1918) imaginaram as possíveis trajetórias da REM dentro de uma folha, como mostra a Figura 1.

Uma pequena quantidade de luz é refletida das células da camada superficial. A maior parte é transmitida para o mesófilo esponjoso, onde os raios incidem freqüentemente nas paredes celulares, sendo refletidos se os ângulos de incidência forem suficientemente grandes. Esta reflexão múltipla é essencialmente um processo aleatório no qual os raios mudam de direção dentro da folha. Dado o grande número de paredes celulares dentro da folha, alguns raios são refletidos de volta, enquanto outros são transmitidos através da folha. A espessura da folha é fator importante no caminho da REM, já que geralmente a transmitância é maior do que a reflectância para folhas finas, mas o inverso acontece com folhas grossas.

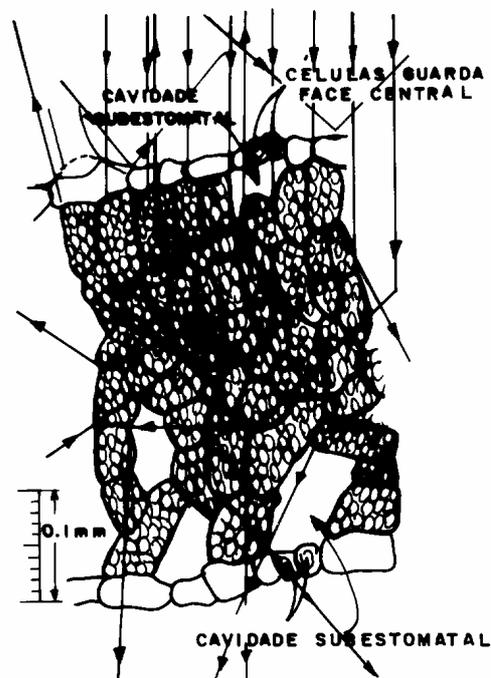


Fig. 1-Seção transversal de uma folha mostrando os possíveis caminhos da luz incidente.

Fonte: Gates et al . (1965)

A curva de reflectância característica de uma folha verde sadia é mostrada na Figura 2. Os comprimentos de onda relativos ao ultravioleta não foram considerados, porque uma grande quantidade dessa energia é absorvida pela atmosfera e a vegetação não faz uso dela.

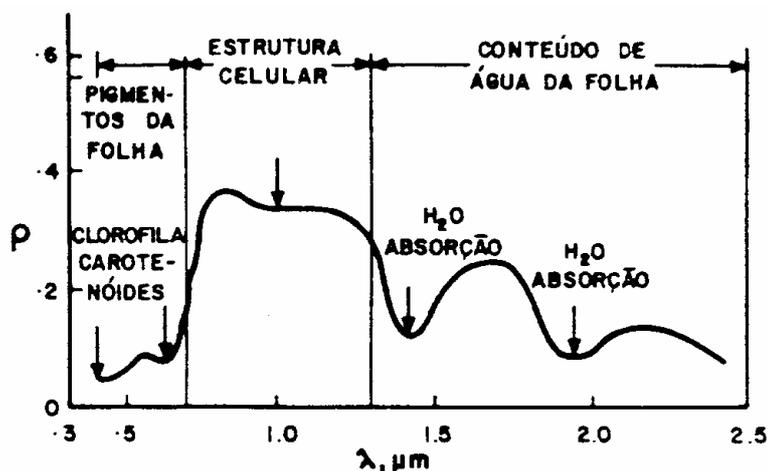


Fig. 2-Curva de reflectância típica de uma folha verde.

Fonte: Novo (1989)

A região compreendida entre 400 nm a 2600 nm pode ser dividida em três áreas:

- a) região do visível (400 nm a 700 nm);
- b) região do infravermelho próximo (700 nm a 1300 nm);
- c) região do infravermelho médio (1300 nm a 2600 nm).

Os principais aspectos relacionados ao comportamento espectral da folha, em cada uma destas regiões são:

- 5. região do visível:** Nesta região os pigmentos existentes nas folhas dominam a reflectância espectral. Estes pigmentos, geralmente encontrados nos cloroplastos são: clorofila (65%), carotenos (6%), e xantofilas (29%). Os valores percentuais destes pigmentos existentes nas folhas podem variar grandemente de espécie para espécie. A energia radiante interage com a estrutura foliar por absorção e por espalhamento. A energia é absorvida seletivamente pela clorofila e é convertida em calor ou fluorescência, e também convertida fotoquimicamente em energia estocada na forma de componentes orgânicos através da fotossíntese;

b) região do infravermelho próximo: Nesta região existe uma absorção pequena da REM e considerável espalhamento interno na folha. A absorção da água é geralmente baixa nessa região. A reflectância espectral é quase constante nessa região. Gates et al. (1965) determinam que a reflectância espectral de folhas nessa região do espectro eletromagnético é o resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo. Fatores externos à folha, como disponibilidade de água por exemplo, podem causar alterações na relação água-ar no mesófilo, podendo alterar a reflectância de uma folha nesta região. De maneira geral, quanto mais lacunosa for a estrutura interna foliar, maior será o espalhamento interno da radiação incidente, e conseqüentemente, maior será também a reflectância;

c) região do infravermelho médio: A absorção devido à água líquida predomina na reflectância espectral das folhas na região do infravermelho próximo. Considerando a água líquida, esta apresenta na região em torno de 2000 nm, uma reflectância geralmente pequena, sendo menor do que 10% para um ângulo de incidência de 65° e menor do que 5% para um ângulo de incidência de 20°. A água absorve consideravelmente a REM incidente na região espectral compreendida entre 1300 nm a 2000 nm. Em termos mais pontuais, a absorção da água se dá em 1100 nm; 1450 nm; 1950 nm; 2700 nm e 6300 nm.

3. INTERAÇÃO DA REM COM OS DOSSÉIS VEGETAIS

Todas as discussões apresentadas até o momento referiram-se ao estudo das propriedades espectrais de folhas isoladas, mas a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto no estudo da vegetação, inclui a necessidade de compreender o processo de interação entre a REM e os diversos tipos fisionômicos de dosséis (florestas, culturas agrícolas, formações de porte herbáceo, etc).

Uma vez que a folha é o principal elemento da vegetação sob o ponto de vista do processo de interação com a REM, espera-se que muito do que foi exposto referente às características de reflectância das folhas, também seja válido para os dosséis. De fato, quando comparadas as curvas de reflectância de uma folha

verde sadia com as medições espectrais de dosséis, estas apresentam formas muito semelhantes. Essa semelhança permite que os padrões de reflectância apresentados pelos dosséis vegetais em imagens multiespectrais possam ser previstos. Assim, por exemplo, espera-se que em imagens referentes à região do visível os dosséis apresentem tonalidade escura devido à baixa reflectância da REM, em função da ação dos pigmentos fotossintetizantes; em imagens da região do infravermelho próximo, estes mesmos dosséis deverão apresentar-se com tonalidade clara e em imagens do infravermelho médio espera-se tons de cinza intermediários entre o escuro das imagens do visível e o claro daquelas do infravermelho próximo.

A distribuição espacial dos elementos da vegetação, bem como a suas densidades e orientações, definem a arquitetura da vegetação. A distribuição espacial depende de como foram arranjadas as sementes no plantio (no caso de vegetação cultivada), do tipo de vegetação existente e do estágio de desenvolvimento das plantas. Em vários modelos de reflectância da vegetação um dossel é considerado como sendo composto por vários sub-dosséis, arranjados regularmente no solo (plantios em fileiras, por exemplo) ou arranjados aleatoriamente, segundo uma distribuição específica. Para um dossel ou sub-dossel homogêneo, assume-se que a densidade dos elementos da vegetação é uniforme, o que é caracterizado pelo *Índice de Área Foliar (IAF)*, que representa a razão entre a área do elemento e a área no terreno. O IAF é um dos principais parâmetros da vegetação e é requerido em modelos de crescimento vegetal e de evapotranspiração; é ainda relacionado à biomassa.

Outro parâmetro que define a arquitetura do dossel é a *Distribuição Angular Foliar (DAF)*. É caracterizada por uma função de densidade de distribuição $f(\theta_i, \varphi_i)$, onde θ_i e φ_i são a inclinação e o azimute da folha, respectivamente. Por conseguinte $f(\theta_i, \varphi_i) d\theta_i d\varphi_i$ é a fração de área foliar sujeita aos ângulos de inclinação θ_i e $\theta_i + d\theta_i$, e os ângulos azimutais φ_i e $\varphi_i + d\varphi_i$. A DAF varia consideravelmente entre os tipos de vegetação. Os dosséis são normalmente descritos por um dos seguintes seis tipos de distribuições: planófila, erectófila, plagiófila, extremófila, uniforme e esférica.

Estes parâmetros arquitetônicos afetam qualitativamente a reflectância da vegetação. Na região do visível, uma vez que muito da energia incidente sobre uma folha é absorvida, com o aumento do número de folhas, isto é, com o aumento do IAF, mais e mais energia será absorvida pela vegetação. Assim que o IAF atingir um determinado valor (aproximadamente compreendido entre 2 e 3), muito da radiação incidente é interceptada e absorvida pelas folhas e um permanente aumento do IAF não influenciará a reflectância da vegetação. Por conseguinte, a reflectância na região do visível decresce quase que exponencialmente com o aumento do IAF até atingir um valor próximo de 0, quando o IAF assume valores entre 2 e 3. Na região do infravermelho próximo, uma vez que a absorção é mínima, o aumento do IAF implica no aumento do espalhamento e no conseqüente aumento da reflectância da vegetação, até que o IAF atinja valores compreendidos entre 6 e 8.

Um dos efeitos da DAF sobre a reflectância da vegetação refere-se à sua influência na probabilidade de falhas através do dossel como uma função dos ângulos zenital solar e de visada.

A orientação das fileiras de uma cultura agrícola, por exemplo, exerce menos influência na região do infravermelho do que na região do visível devido ao menor efeito das sombras, uma vez que as folhas são praticamente transparentes nesta região espectral.

Um outro efeito da arquitetura do dossel sobre sua reflectância ocorre quando os elementos da vegetação não se encontram uniformemente distribuídos. Supondo que ao invés de estarem uniformemente distribuídas no dossel, as folhas estivessem agrupadas, este agrupamento apresentaria dois efeitos principais: ele aumentaria a probabilidade de ocorrência de lacunas através de toda a extensão do dossel, que por sua vez, aumentaria a influência do espalhamento dos elementos deste mesmo dossel, localizados nas camadas mais próximas ao solo.

4. PARTICULARIDADES SOBRE A APARÊNCIA DA VEGETAÇÃO EM IMAGENS ORBITAIS

Um dossel vegetal apresenta valores de reflectância relativamente baixos na região do visível, devido à ação dos pigmentos fotossintetizantes que absorvem a REM para a realização da fotossíntese. Isto é evidenciado pela tonalidade escura nas imagens obtidas nesta região. Nas imagens da região do infravermelho próximo verifica-se que estes valores apresentam-se elevados devido ao espalhamento interno sofrido pela REM em função da disposição da estrutura morfológica da folha, aliado ainda ao espalhamento múltiplo entre as diferentes camadas de folhas. Finalmente, no infravermelho médio tem-se uma nova queda destes valores, devido a presença de água no interior da folha. De fato, estes fatores influentes não atuam isoladamente. Em cada uma das regiões espectrais todos os fatores exercem sua influência concomitantemente. Assim, por exemplo, os níveis baixos de reflectância na região do visível, esperados para uma cobertura vegetal, não se devem exclusivamente à absorção dos pigmentos existentes nas folhas, mas também às sombras que se projetam entre as folhas, as quais são dependentes da geometria de iluminação, da Distribuição Angular das Folhas (DAF) e da rugosidade do dossel em sua camada superior (topo do dossel). Sobre esses efeitos discorreremos oportunamente.

Vale salientar que o que é efetivamente medido pelo sensor colocado em órbita terrestre é a radiância espectral. Como cada sensor de cada banda espectral, na qual tal sensor é apto a coletar a REM refletida pelos objetos possui sua própria sensibilidade, isso implica num “desbalanceamento” entre as radiâncias espectrais medidas. Esse desbalanceamento pode ocasionar diferenças de brilho de um mesmo objeto entre as bandas, ora subestimando-o, ora superestimando-o. Isso pode explicar, por exemplo, que apesar da queda da reflectância da vegetação verificada na região espectral do infravermelho médio não ser muito acentuada em relação à região do infravermelho próximo, no caso da cobertura vegetal, a tonalidade escura numa imagem do infravermelho médio freqüentemente é mais intensa do que aquela verificada em uma imagem do visível. Alia-se a este fato a maior interferência da atmosfera nas regiões do

visível em relação ao infravermelho que tende a deixar ligeiramente “mais claros” os dosséis vegetais nas imagens do visível.

Mesmo ciente destas influências, é comum o intérprete de imagens orbitais interessado em extrair informações sobre a cobertura vegetal, procurar associar os padrões apresentados por esta diretamente com suas características estruturais (parâmetros biofísicos). De fato, como foi apresentado nos itens anteriores, essa associação é possível, mas existem algumas particularidades que devem ser consideradas. Por exemplo: é esperado que à medida que uma determinada cobertura vegetal aumenta sua densidade, os valores de reflectância espectral referentes à região do visível apresentem uma diminuição quase exponencial, enquanto que para a região do infravermelho próximo estes apresentam aumento também quase exponencial, até que sejam atingidos seus respectivos pontos de saturação (IAF=2 ou 3 para a região do visível e IAF=6 ou 8, para a região do infravermelho próximo).

Dependendo da arquitetura (forma e distribuição espacial dos indivíduos constituintes do dossel) assumida em cada uma das fases de desenvolvimento dessa cobertura vegetal, esse efeito pode ou não ser constatado, podendo ser “mascarado” pelo efeito de outros fatores/parâmetros, principalmente participação do solo e sombreamento entre os próprios elementos da vegetação (folhas, galhos e troncos, principalmente). Assim, em uma imagem do infravermelho próximo, uma floresta perenifólia, bem densa, com um IAF muito elevado, poderá assumir um brilho mais escuro do que um plantio jovem de *Eucalyptus* spp., que possuiria um IAF bem menos elevado. Em tal floresta, a existência de diferentes estratos (camadas) horizontais, com os indivíduos dominantes projetando suas copas acima de uma cota média do dossel, poderia acarretar o sombreamento daqueles que se posicionariam imediatamente abaixo, o que implicaria na diminuição da irradiância nos estratos inferiores e, conseqüentemente, na diminuição da radiância medida pelo sensor orbital, o que por sua vez implicaria no “escurecimento” do dossel da floresta em relação ao de *Eucalyptus* spp, que não possuiria estratos e portanto o sombreamento entre seus elementos constituintes seria bem menor. Evidentemente que esse efeito será tanto maior

quanto maior for o ângulo de incidência solar, uma vez que o sombreamento é proporcional a esse ângulo.

Para o caso do solo, sua participação também é dependente do ângulo de iluminação e desta vez de maneira inversa, ou seja, quanto maior for o ângulo de incidência, é esperada uma menor participação do solo.

Cada dossel, em particular, possui suas características próprias e desenvolve-se em diferentes tipos de solos sob diferentes condições ambientais. Não há como prever todas as possibilidades, tentar elencá-las, relacionando-as a possíveis padrões em imagens orbitais. Assim como acontece com qualquer outro objeto de estudo à luz das técnicas de sensoriamento remoto, são inerentes as chamadas ambigüidades nas quais efeitos de diferentes fatores/ parâmetros podem assumir valores iguais de radiância, o que implicará em uma “mesma” aparência nas imagens, mesmo em se tratando de diferentes coberturas vegetais. Cabe ao intérprete estar preparado para conviver com estas limitações e extrair dos produtos de sensoriamento remoto o máximo de informação confiável.

5. DIAGNOSTICANDO A MATA ATLÂNTICA

Vaga no inconsciente e até no consciente das pessoas, a noção de que os recursos naturais vêm se tornando escassos e que a humanidade precisa aprender rapidamente a utilizar com racionalidade esses recursos, sob pena de comprometer a sobrevivência das gerações futuras. Contudo, nem sempre essa noção é fruto da análise racional conduzida sobre dados concretos, gerados a partir da aplicação de metodologias cientificamente fundamentadas.

A partir de meados da década de 80, iniciou-se no país uma intensa mobilização da sociedade civil pela preservação da Mata Atlântica. O movimento ambientalista, no entanto, contava com poucas informações consistentes sobre a área original, a dimensão, a distribuição espacial, a estrutura e a situação dos remanescentes florestais do bioma. Com o objetivo de suprir essas lacunas, sem o que não seria possível traçar ações efetivas de conservação, a Fundação SOS Mata Atlântica e o INPE, em parceria com o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), concluíram o "Atlas dos

Remanescentes Florestais do Domínio da Mata Atlântica" em 1990. Primeiro mapeamento da Mata Atlântica realizado no País a partir da análise de imagens de satélite, incluiu, além das fisionomias florestais, os ecossistemas associados, na escala 1:1.000.000, determinando sua área original e estabelecendo uma referência inicial para o desenvolvimento de novos estudos. A escala adotada neste primeiro trabalho apresentou limitações para estudos mais detalhados, pois algumas unidades de pequena extensão não puderam ser mapeadas e polígonos de remanescentes descontínuos foram agrupados. Em função dessas limitações e motivados em adquirir informações mais precisas, a Fundação SOS Mata Atlântica e o INPE iniciaram um novo mapeamento em 1990 que originou o "Atlas da Evolução dos Remanescentes Florestais e Ecossistemas Associados no Domínio da Mata Atlântica - Período 1985-1990", o trabalho foi concluído em 1993 e permitiu avaliar a dinâmica dos remanescentes florestais e de ecossistemas associados da Mata Atlântica em 10 Estados, da Bahia ao Rio Grande do Sul. Foram utilizadas técnicas de interpretação visual de imagens TM/Landsat, na escala 1:250.000, levantamentos de campo e análise por especialistas para aferição dos dados.

Diante dos resultados obtidos, a Fundação SOS Mata Atlântica e o INPE iniciaram uma nova atualização de dados, analisando a dinâmica do bioma entre 1990-1995. Esta etapa abrangeu todos os Estados da fase anterior, com exceção da Bahia devido a não disponibilidade de imagens livres de nuvens, e vários aprimoramentos foram incorporados, graças ao avanço tecnológico verificado, o que permitiu uma melhor visualização das classes mapeadas e deu, conseqüentemente, uma maior confiabilidade aos dados gerados. Outro aperfeiçoamento importante foi a inclusão de uma avaliação estatística, supervisionada pelo INPE, que apontou o índice de exatidão global do mapeamento dos Estados do Espírito Santo e de Santa Catarina.

Além dos aprimoramentos anteriormente citados, o Instituto Socioambiental, com o qual a Fundação SOS Mata Atlântica assinou convênio em 1995, digitalizou os limites das fisionomias vegetais que compõem o Domínio da Mata Atlântica (Figura 3), segundo a terminologia e os critérios estabelecidos pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e os limites de algumas

Unidades de Conservação federais e estaduais. Com base nestes dados, foi possível avaliar a dinâmica da Mata Atlântica de forma mais precisa e localizada, permitindo a definição de políticas de conservação mais objetivas e coerentes com cada situação. Este aperfeiçoamento permitiu, ainda, que os dados sobre as formações florestais da Mata Atlântica fossem separados dos dados de outros biomas, principalmente savana e estepe, que na etapa anterior estavam incluídos no cômputo geral.

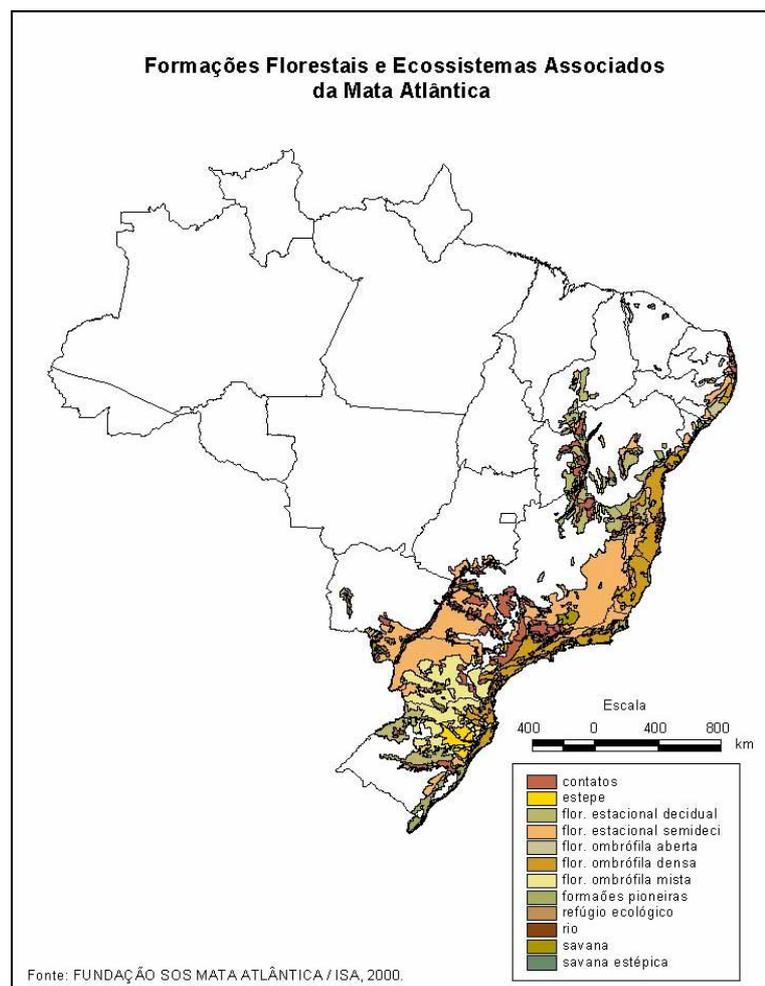


Figura 3 – Domínio da Mata Atlântica

Em meados de 1999, a SOS Mata Atlântica e o INPE iniciaram a concepção de um novo mapeamento, agora referente ao período 1995-2000, no qual foram incluídas várias inovações metodológicas, fruto do aprimoramento de máquinas e de aplicativos disponíveis.

Mas afinal, como esses mapeamentos são feitos? Em que critérios se fundamentam e que tipo de produtos são utilizados? O que se pode afirmar sobre a sua confiabilidade?

Antes de aprofundarmos mais sobre as questões metodológicas, é necessário compreender primeiramente o papel de cada instituição envolvida. A Fundação SOS Mata Atlântica age como uma espécie de cliente que tem necessidades e para atendê-las, procura outra instituição que julga ter alguma competência específica. Para o caso de sua relação com o INPE, a Fundação SOS Mata Atlântica espera obter toda a orientação técnico-científica que garanta aos resultados dos mapeamentos o máximo de confiabilidade possível. Nesse sentido, o INPE assume a coordenação técnica dos trabalhos, estabelecendo então todos os procedimentos metodológicos a serem conduzidos, porém não pode, devido às suas diretrizes institucionais, elaborar os mapeamentos propriamente ditos, cabendo estes a empresas do setor aeroespacial que foram escolhidas mediante licitações. Mesmo assim, o INPE acompanha passo a passo todos os processos envolvidos nos mapeamentos, interferindo quando necessário.

Mesmo para aqueles pouco familiarizados com mapeamentos de grandes extensões da superfície terrestre, deve ser suficientemente fácil compreender que estes não são elaborados sem a utilização de alguma ferramenta que possibilite a observação instantânea de uma dada porção dessa superfície, como acontece, por exemplo com fotografias aéreas ou imagens de satélite. Nesses mapeamentos específicos que estamos tratando, foram utilizadas imagens do sensor Thematic Mapper do satélite Landsat 5, as quais podem ser disponibilizadas em duas formas básicas: a analógica e a digital. Na analógica a imagem é materializada em papel, assumindo a aparência de uma grande fotografia, cujo tamanho é dependente da escala de trabalho. Por exemplo: se a escala de trabalho fosse definida como 1:100.000, essas imagens ficariam materializadas em papel fotográfico de aproximadamente 1,20 x 1,20m, enquanto se a escala fosse de 1:250.000, essas dimensões passariam para aproximadamente 90 x 90 cm. Na forma digital, a imagem é disponibilizada eletronicamente através de diferentes meios, sendo o mais usual atualmente o

CDROM. Mas os primeiros mapeamentos não contavam com as imagens em formato digital, nem com aplicativos que permitissem maior facilidade na manipulação dos dados. Então, todo o trabalho era feito sobre as imagens em formato analógico. Vamos aqui descrever os procedimentos adotados nos três últimos mapeamentos realizados, uma vez que foram neles que se verificaram os maiores aprimoramentos metodológicos.

O mapeamento que se seguiu àquele desenvolvido na escala 1:1.000.000, foi realizado no início da década de 90 sobre imagens orbitais datadas do final de década de 80 disponibilizadas na escala 1:250.000 (imagens analógicas). A legenda desse mapeamento foi assim definida: Remanescentes Florestais, Remanescentes de Restinga, Remanescentes de Mangue. Em Remanescentes Florestais estariam incluídas todas as formações florestais, mesmo aquelas que apresentariam baixos índices de degradação e outras em estágios sucessionais avançados (capoeiras), excluindo somente os reflorestamentos (jovens e adultos). Remanescentes de Restinga seriam todas as formações florestais acorrentes próximas ao mar e preferencialmente abaixo da cota topográfica de 20m. Vale salientar que nem todo o Estado da Federação trata o termo Restinga como sendo uma formação florestal. Dessa forma, procurou-se adequar os mapeamentos para cada Estado, procurando não ferir os critérios regionais existentes. Remanescentes de Mangue foram consideradas aquelas formações arbóreo-arbustivas localizadas em canais de drenagem sob influência marítima.

Uma vez definida essa legenda, a qual é perfeitamente compatível com a escala 1:250.000, restava ainda definir quais imagens utilizar, ou seja, quais, entre as diversas imagens geradas pelo sensor Thematic Mapper serviriam para identificar os itens da legenda estabelecida. Para tanto, foi considerado o processo de interação entre a radiação eletromagnética e a vegetação descrito anteriormente (Figura 1).

A alternância de tons claros e escuros da aparência da vegetação nas diferentes imagens torna possível a elaboração das chamadas *composições coloridas*, que nada mais são do que superposições de três diferentes imagens (provenientes de regiões espectrais diferentes, mas da mesma porção da superfície terrestre)

sobre as quais são aplicados filtros coloridos com as cores primárias (vermelho, verde e azul) para cada imagem. Como resultado, a paisagem analisada assume cores dando uma aparência como de uma fotografia colorida.

No mapeamento em questão, foram utilizadas imagens da região do vermelho (visível), do infravermelho próximo e do infravermelho médio, sendo que cada uma delas recebeu os filtros azul, verde e vermelho, respectivamente. Essa distribuição de imagens e filtros permitiu que a vegetação assumisse tonalidades esverdeadas nas composições coloridas, o que facilitou e muito o trabalho dos intérpretes, que naquela época não estavam familiarizados em observar a vegetação em outra cor senão aquela que quotidianamente estavam acostumados a observar (verde).

Mas quantas composições foram elaboradas? Foram elaboradas pelo INPE 104 composições coloridas de forma a abranger todo o Domínio da Mata Atlântica, as quais eram distribuídas para empresas do setor privado que se incumbiam de elaborar o mapeamento. Já nessas empresas então, sobre cada uma dessas 104 composições coloridas era colocado o que chamamos de “overlay” que é um papel polyester, relativamente transparente sobre o qual o intérprete procede a interpretação propriamente dita (Figura 4).

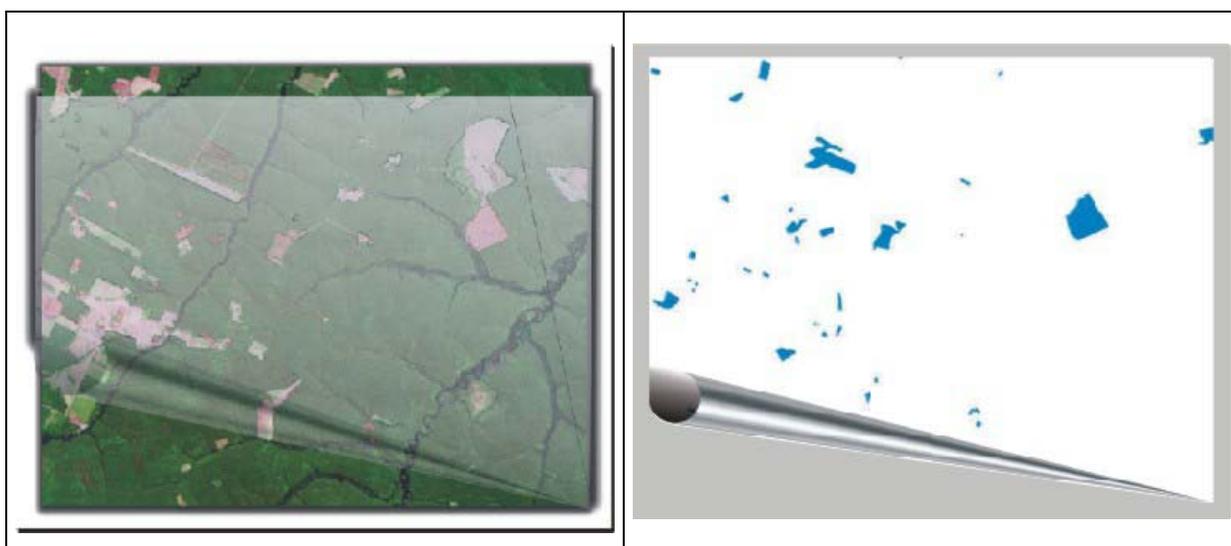


Figura 4 – “Overlay” sobre a imagem e o mapa preliminar resultante da interpretação. FONTE:

http://sputnik.dpi.inpe.br:1910/col/dpi.inpe.br/banon/2000/09.12.17.24/doc/amz1998_1999/pagina6.htm

Nesse “overlay” eram demarcados também os limites das cartas topográficas na escala 1:250.000, que em última análise são consideradas as *unidades de mapeamento* (Figura 5) que totalizavam 114 cartas topográficas e também eram demarcados os *pontos de controle*, que eram cruzamentos de estradas ou rios que podiam ser facilmente visualizados nas cartas topográficas e nas imagens e serviriam para posicionar geograficamente o mapa gerado mediante a utilização de algoritmos específicos implementados em computadores. Nessa escala de mapeamento, 25 ha foi definido como área mínima de mapeamento.

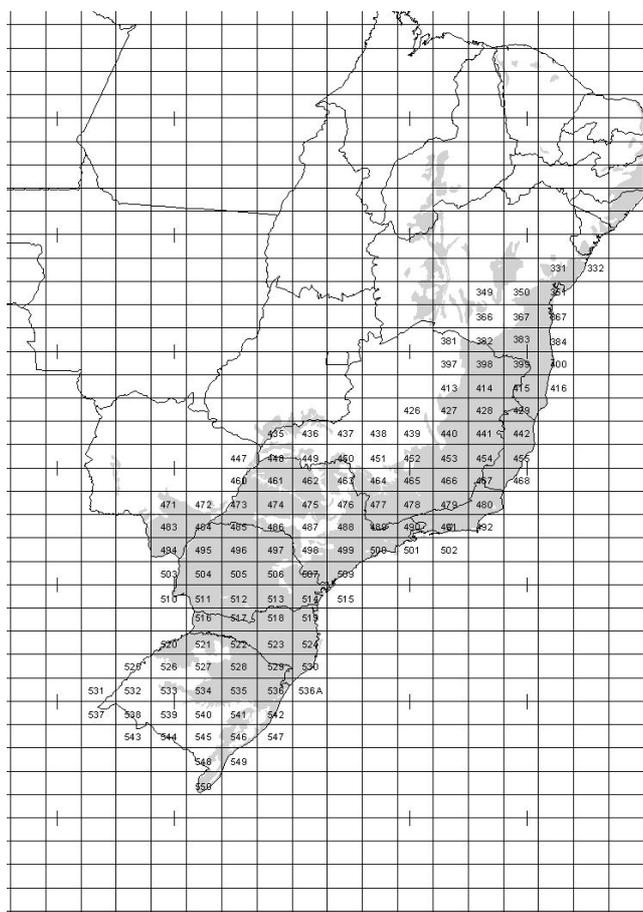


Figura 5 – Contorno das carta topográficas na escala 1:250.000 sobre o Domínio da Mata Atlântica.

Era constituída então uma equipe de três a quatro intérpretes, liderados por outro com maior experiência que se incumbia de efetuar a homogeneização das interpretações, ou seja, cuidava para que houvesse um mínimo de diferenças entre as interpretações, uma vez que a interpretação propriamente dita é uma

atividade puramente intuitiva e de carácter subjetivo. Como conseqüência, cada intérprete tem seus próprios critérios no momento da definição da natureza de uma dado polígono mapeado, bem como de seus limites. No caso de dúvidas, um técnico do INPE era chamado para que este tomasse uma decisão específica, assumindo então todas as conseqüências dessa decisão. Uma vez concluída essa etapa de interpretação, os “overlays” eram novamente analisados procurando identificar inconsistências de interpretação e em seguida estes eram digitalizados e introduzidos em um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Era impressa uma prova de cada uma das 114 cartas topográficas, agora contendo somente o conteúdo temático (mapa contendo os polígonos fruto da interpretação) para uma nova averiguação de inconsistências. Essas provas eram enviadas a consultores em cada Estado para que estes procedessem a uma análise crítica do mapeamento realizado. Esses consultores eram basicamente profissionais do mundo acadêmico ou não, com comprovada experiência no estudo da Mata Atlântica e de seus ecossistemas associados.

Depois da intervenção dos consultores, cada carta era novamente analisada, procurando corrigir possíveis erros de interpretação e procedia-se a elaboração dos mapas finais. A partir dessa etapa, as áreas de cada tema da legenda eram determinadas através de funções específicas do SIG utilizado. Todo esse processo descrito para o primeiro mapeamento na escala 1:250.000 consumiu em média 2 anos para ser concluído.

A atualização do atlas gerado nesse mapeamento foi elaborada em meados da década de 90, segundo uma metodologia muito semelhante àquela descrita, diferenciando-se somente na utilização de composições coloridas ligeiramente diferentes. A diferença verificou-se na substituição dos filtros coloridos vermelho e verde que passaram a ser atribuídos às imagens do infravermelho próximo e médio, respectivamente e na aplicação de contrastes lineares às imagens, o que implicou em uma melhor discriminação visual de feições da superfície terrestre nas composições geradas. Nesse mapeamento, a escala de 1:250.000 foi mantida, bem como todos os procedimentos e critérios utilizados na interpretação. A Figura 6 mostra um exemplo de uma mesma cena, referente às cercanias da

Baía da Guanabara, observada em composições coloridas como aquelas utilizadas em ambos os mapeamentos.

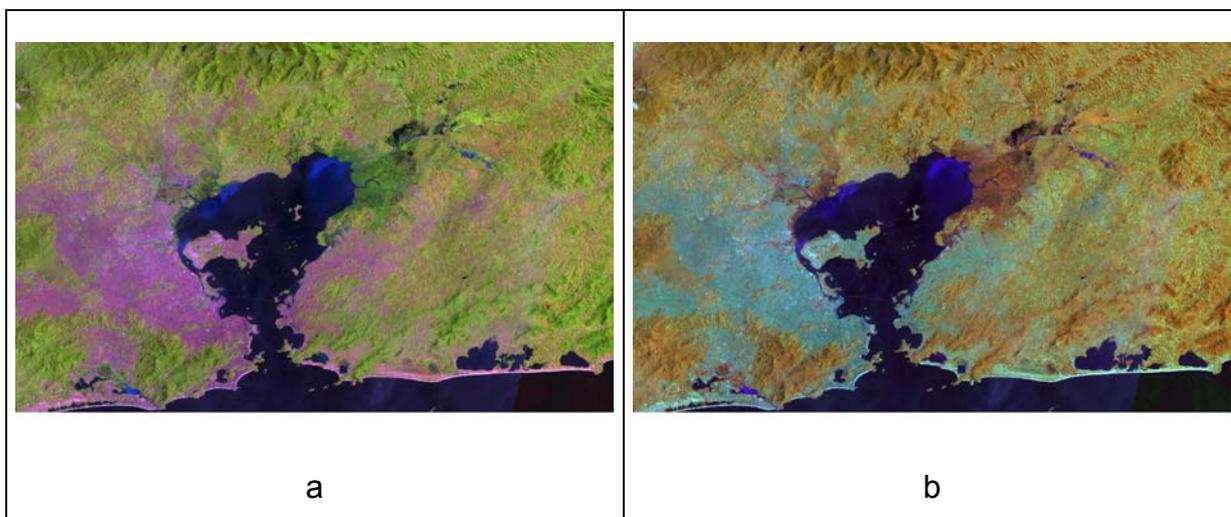


Figura 6 – Composições coloridas utilizadas nos mapeamentos de 1985-90 (a) e 1990-95 (b).

Outra implementação importante foi a estimativa de Exatidão de Mapeamento Global, que é fundamentada no confronto entre os mapas gerados e informações provenientes do campo. Para tanto, são sorteados aleatoriamente um certo número de pontos a serem visitados em campo. Esses pontos recaem sobre o mapa sobre polígonos cujas naturezas e posicionamento espacial foram estabelecidos pelos intérpretes. Uma equipe responsável pelo trabalho de campo visita cada um dos pontos selecionados e averigua se de fato a decisão do intérprete sobre a natureza do polígono interpretado foi correta. Os resultados são organizados de tal forma a permitir o cálculo de um valor percentual que expressa a confiabilidade dos mapas gerados. Por exemplo: se encontramos um valor de Exatidão de Mapeamento de 80%, isso significa que temos 80% de chance de que um polígono identificado como Remanescente Florestal no mapa, seja realmente esse tema em campo. Essa iniciativa foi muito bem recebida pela comunidade científica que anteriormente a ela, não dispunha de qualquer informação sobre a qualidade dos mapas gerados. Essa atualização consumiu também aproximadamente 2 anos para ser concluída.

No início do ano 2000, a Fundação SOS Mata Atlântica e o INPE iniciaram a atualização desse segundo atlas, agora para o período 95-2000. Nesse mapeamento foram verificados vários aprimoramentos metodológicos que incluíram o georreferenciamento prévio das imagens que então foram disponibilizadas em formato digital. Esse georreferenciamento possibilitou a eliminação de uma das etapas mais demoradas que era a digitalização dos “overlays”, os quais foram então eliminados do processo. A interpretação visual das imagens passou a ser feita diretamente em tela de computador, com a imagem já georreferenciada, o que possibilitou ainda a ampliação da escala de mapeamento para 1:50.000 e conseqüentemente a redução da área mínima de mapeamento para 10 ha. Mais uma vez foi adotada a composição de uma equipe de 3 a 4 intérpretes, liderados por outro de maior experiência, seguindo todas as etapas de verificação e auditoria por parte de consultores identificados em cada Estado.

Esse aprimoramento implicou na impossibilidade de comparar diretamente os dados gerados no mapeamento anterior (na escala 1:250.000 e sobre imagens analógicas) com aqueles gerados na escala 1:50.000. Assim, todo o mapeamento do período 90-95 foi refeito, agora na escala 1:50.000, segundo a nova metodologia estabelecida de forma a permitir a quantificação de possíveis alterações verificadas no polígono mapeado. A atualização desse “novo” atlas está em andamento e em aproximadamente 1 ano, já foi possível concluir a análise dos dados do Rio de Janeiro (divulgado em 03.04.01), Paraná (divulgado em 27.04.01), Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo (com divulgações agendadas para os próximos meses).

Além desse aprimoramento, os dados passaram a ser disponibilizados por município e para algumas unidades de conservação, de forma a permitir a cada cidadão o conhecimento da situação da cobertura vegetal do seu município de interesse. O acesso a esses dados e de todos os relatórios gerados, os quais contém uma descrição detalhada das metodologias empregadas nesses mapeamentos, está sendo viabilizado através da Internet no endereço <http://www.sosmatatlantica.org.br/>.

A participação do INPE nesse ambicioso projeto de diagnóstico periódico da Mata Atlântica e de seus ecossistemas associados caracterizou-se pela busca de soluções técnico-científicas que garantissem confiabilidade aos dados gerados. A idéia para os mapeamentos futuros é dar um passo ainda maior que transcende o aprimoramento restrito às metodologias de mapeamento e de manipulação dos dados, como também valorizar o banco de dados já disponível sobre a Mata Atlântica visando o Zoneamento Econômico Ecológico em nível municipal. Para tanto, vários especialistas do INPE e de diferentes universidades, estarão se mobilizando para avaliar os critérios que nortearão tal zoneamento. Trata-se de mais um desafio a ser vencido por todos os envolvidos, entendendo que não basta somente diagnosticar o efeito nocivo do homem, mas as informações até o momento adquiridas devem contribuir efetivamente para a conservação daquilo que restou desse importante bioma.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gates, D.M.; Keegan, H.J.; Schleter, J.C.; Weidner, V.R. Spectral properties of plants. *Applied Optics*, 4(1): 11-20, 1965.
- Novo, E.M. de M. *Sensoriamento remoto: principios e aplicações*. São Paulo. Edgard Blucher. 1989. 308p.
- Willstatter, R.; Stoll, A. *Untersuchungen uber die assimilation der kohlenstaure*. Springer, Berlin, 1918.