

INPE-5248-PRE/1679

**SUBSÍDIOS DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA O MANEJO
FLORESTAL: ESTADO ATUAL DA ARTE E PERSPECTIVAS**

**Vitor Celso de Carvalho
Yosio Edemir Shimabukuro
João Roberto dos Santos
Pedro Hernandez Filho**

**INPE
São José dos Campos
Janeiro de 1991**

**SECRETARIA DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

INPE-5248-PRE/1679

**SUBSÍDIOS DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA O MANEJO
FLORESTAL: ESTADO ATUAL DA ARTE E PERSPECTIVAS**

**Vitor Celso de Carvalho
Yosio Edemir Shimabukuro
João Roberto dos Santos
Pedro Hernandez Filho**

**Trabalho apresentado no 6º Congresso Florestal
Brasileiro, realizado em Campos do Jordão
São Paulo - Brasil, de 22 a 27 de setembro de 1990**

**INPE
São José dos Campos
Janeiro de 1991**

CDU 528.711.7:634

Palavras-Chave: Sensoriamento remoto; Manejo florestal; Revisão de literatura; Perspectivas

SUBSÍDIOS DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA O MANEJO FLORESTAL:
ESTADO ATUAL DA ARTE E PERSPECTIVAS.

Vitor Celso de Carvalho
Yosio Edemir Shimabukuro
João Roberto dos Santos
Pedro Hernandez Filho.

Departamento de Aplicações e Transferência
Diretoria de Observação da Terra
Instituto de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515
12201 - São José dos Campos - SP

RESUMO

Este trabalho apresenta um levantamento e síntese das principais contribuições dadas pela técnica de sensoriamento remoto, capazes de auxiliar o processo de manejo dos recursos florestais. Para isto, elas foram organizadas e classificadas segundo quatro etapas básicas: (1) identificação e/ou caracterização; (2) classificação e/ou mapeamento; (3) avaliação e/ou inventário; e (4) monitoramento. A partir de uma análise do desenvolvimento da tecnologia de sensoriamento remoto no INPE/Brasil e da revisão da literatura internacional correspondente aos últimos três anos (1987, 1988 e 1989) tem-se uma visão do estado atual da arte. Finalmente, apresenta-se as principais perspectivas a curto e médio prazo para o sensoriamento remoto, com o advento de novos sistemas sensores.

ABSTRACT

This paper presents a synthesis of the principal contributions of remote sensing techniques to the process of forest resources management. These contributions were classified and organized in four basic phases: (1) identification and/or characterization; (2) classification and/or mapping; (3) evaluation and/or inventory; and (4) monitoring. A view of the state of the art is presented based on an analysis of the development of remote sensing technology at INPE/Brazil and the international literature review in the last three years (1987, 1988, and 1989). Finally, new sensors development, in the short and medium time frame, are presented.

Trabalho apresentado no 6º Congresso Florestal Brasileiro, realizado em Campos do Jordão - São Paulo - Brasil, de 22 a 27 de setembro de 1990.

INTRODUÇÃO

Os recursos florestais, constituem hoje, um patrimônio fundamental do país, dado ao valor maior e variado que eles vêm apresentando, num contexto mundial de carência generalizada e, às perturbações ambientais e econômicas de ordem global, que vem sendo provocadas pela má distribuição, uso e controle desses recursos. A cada dia, tornam-se mais imprescindíveis e urgentes medidas governamental e empresarial, que assegurem o levantamento, controle e manejo da cobertura vegetal. Estes fatos sugerem a necessidade do emprego de conhecimentos técnicos e científicos cada vez mais profundos e integrados, para garantir a própria sobrevivência da espécie humana no planeta.

Dentre essas tecnologias, pode-se destacar o sensoriamento remoto, que abrange um conjunto de técnicas para a coleta, processamento e análise de dados da superfície terrestre, a partir de informações eletromagnéticas oriundas da interação energia x alvo. Estas informações são medidas por sensores especiais, colocados a bordo de plataformas orbitais, aéreas e terrestres, e, operados remotamente, ou seja, a distância do alvo. Este conjunto permite a execução de várias etapas que podem contribuir no processo de manejo florestal, tais como: a identificação, descrição ou caracterização de padrões espaciais do terreno; a avaliação da disponibilidade, qualidade e quantidade dos recursos localizados; e o acompanhamento das alterações e das condições desses recursos, provocadas pelo seu uso e manejo, ou por acidentes naturais ou culturais.

Estas informações são essenciais para o estabelecimento de prioridades, planejamento (exploração, renovação e proteção) e manejo desses recursos florestais (Adrien e Baumgardner, 1977). Porém, é preciso ficar claro, que o sensoriamento remoto não fornece todas as informações necessárias, para toda a operação de manejo. A maneira pela qual ele é aplicado, vai depender fundamentalmente do estágio de desenvolvimento desta tecnologia no país e da capacidade operacional dos recursos humanos disponível. Em síntese, o sensoriamento remoto é basicamente, uma ferramenta para ajudar na tomada de decisões, por permitir o conhecimento e diagnose de problemas até mesmo complexos, a formulação e escolha de estratégias em diferentes níveis de observação, tendo como resultante uma abordagem otimizada do geral para o particular, com uma mesma ferramenta.

O principal objetivo deste trabalho, é apresentar um levantamento e síntese, das principais contribuições dadas pela técnica de sensoriamento remoto, capazes de auxiliar o processo de manejo dos recursos florestais. Para isto, os artigos enquadrados neste objetivo, foram levantados e classificados, de acordo com o seu propósito fundamental, em quatro grandes linhas de atuação, ou seja: 1) identificação e/ou caracterização; 2) classificação e/ou mapeamento; 3) avaliação e/ou inventário; e 4) monitoramento.

Assim, a guisa de referencial, é analisado em seguida, a evolução histórica e metodológica desta tecnologia no INPE,

fornecendo o volume de publicações ali realizadas, permitindo avaliar, desta forma, o seu estado atual no Brasil. Após a apresentação deste panorama nacional, são avaliados os principais trabalhos publicados nos últimos três anos (1987, 1988 e 1989), nas revistas e anais de simpósios mais conhecidos internacionalmente e disponíveis na biblioteca do INPE. Finalmente, com base no quadro apresentado e no desenvolvimento de novos sistemas sensores e de análise de dados, são também discutidas, as principais perspectivas a curto e médio prazo, apontadas para esta área de aplicação e são apresentadas também, sinteticamente, as considerações finais que puderam ser feitas a partir da análise efetuada.

2. A EXPERIÊNCIA BRASILEIRA.

Dentro de um programa espacial mais amplo, surgiu em 1961, a iniciativa de desenvolver no país a tecnologia de sensoriamento remoto orbital. No decorrer da década de sessenta, foi se afirmando a certeza de que esta tecnologia seria de muita utilidade para o Brasil, devido as suas características intrínsecas, tais como: 1) visão sinótica; 2) recobrimento periódico; 3) cobertura multiespectral; e 4) custo efetivo relativamente baixo por quilômetro quadrado. Diante das deficiências do país, tanto na coleta como no processamento das informações a respeito do levantamento e controle dos seus recursos naturais, a adoção desta tecnologia foi uma decorrência quase natural. O início da década de setenta, foi extremamente profícuo, com a criação do INPE e do Projeto RADAMBRASIL e o lançamento pelos EUA, do primeiro satélite artificial concebido exclusivamente para o levantamento dos recursos naturais da Terra, o Landsat-1, em 1972.

Apresenta-se neste item, uma análise sintética das abordagens metodológicas e dos principais resultados obtidos no estudo da vegetação e das florestas implantadas, feitos com o uso de técnicas de sensoriamento remoto nos últimos vinte anos, no INPE. Esta análise é fruto de um trabalho semelhante a este, realizado por Carvalho (1989) e atualizado por Carvalho e Shimabukuro (em publicação), que revisaram praticamente todas as publicações ligadas a estas atividades (228 trabalhos), de 1961 a 1989. Diante do interesse do presente trabalho, em mostrar aquelas aplicações que podem fornecer um subsídio para o manejo dos recursos florestais brasileiros, foram definidas quatro linhas básicas de atuação, conforme já mencionado, e que serão, a seguir, consideradas.

2.1. Identificação e/ou caracterização.

Esta seria a etapa básica para se chegar ao manejo florestal, por permitir, não somente, o desenvolvimento de novos sistemas sensores mais adaptados as necessidades florestais, como também, para melhor conhecer os mecanismos fundamentais de interação da energia eletromagnética (luz solar) com o alvo florestal e, desta forma, melhor interpretar a informação contida na imagem ou produto, fornecido pelos sensores remotos.

Esforços neste sentido, foram feitos de forma descontínua, procurando conhecer, o comportamento espectral relacionado aos fenômenos envolvidos na variação de temperatura de alvos vegetais. Além disso, foram empreendidos esforços para entender o comportamento espectral e contribuir assim, no controle de dados orbitais. O mesmo pode ser praticamente considerado, para aqueles trabalhos voltados para a análise do comportamento espectral de plantas ou coberturas vegetais, influenciado por anomalias geobotânicas. Os resultados obtidos, dado as características metodológicas dos trabalhos realizados, não permitem apresentar conclusões definitivas.

2.2. Classificação e/ou mapeamento.

Estes estudos vem se desenvolvendo de uma forma contínua, desde o início das atividades de aplicações de sensoriamento remoto orbital no Brasil, atingindo um maior grau de amadurecimento nos últimos cinco anos. Os trabalhos voltados para o domínio da vegetação, foram desenvolvidos em áreas-pilotos, distribuídas preferencialmente em locais representativos de seis domínios fitogeográficos: 1) Floresta Atlântica; 2) Floresta Amazônica; 3) Cerrado; 4) Pantanal; 5) Formações Litorâneas; e 6) Caatingas. Com relação as florestas plantadas, eles se concentraram principalmente no Estado de São Paulo (Eucalyptus, Pinus e Araucária).

Nestes trabalhos, empregaram-se inicialmente, imagens fotográficas preto e branco na escala de 1:1.000.000, dos canais 5 (visível) e 7 (infravermelho-próximo) do sensor MSS (Multispectral Scanner Subsystem) do satélite Landsat. Em seguida, aumentaram-se as escalas das imagens até 1:100.000, introduzindo-se o tratamento digital de dados e, finalmente, explorando mais intensamente as composições coloridas e demais canais espectrais, através de um processo interativo de correção geométrica e radiométrica e aplicação de técnicas de realce.

Sobre os produtos fotográficos, empregaram-se técnicas convencionais de fotointerpretação, adaptadas para as condições multiespectrais dos dados e a sua resolução espacial, utilizando principalmente aspectos de tonalidade e textura. Os dados, sob a forma digital, foram processados num sistema interativo de análise de dados e, após a aplicação de algoritmos de pré-processamento e realce, foram classificados, principalmente, com o algoritmo supervisionado de máxima verossimilhança (MAXVER). A metodologia foi sendo direcionada, quase exclusivamente, para a análise digital por computador, combinando técnicas de classificação não-supervisionada com supervisionada (classificação mista), o desenvolvimento de técnicas de realce e correção de dados, e a exploração das características multitemporais das imagens orbitais.

Os resultados encontrados, mostraram que a capacidade de discriminação dos diferentes alvos vegetais naturais ou plantados (reflorestamento), permite a classificação de cerca de cinco classes de coberturas, dependendo do seu tipo e

condições ambientais, tais como: condições climáticas, posição no relevo e tipo de solo. A nível de reflorestamento, foram separados os gêneros Pinus de Eucalyptus, e basicamente, dois estágios de desenvolvimento: plantio recente e antigo ()2 anos). O aporte de informações, conseguido com o desenvolvimento e operação de novos sistemas sensores orbitais como o TM (Thematic Mapper)/Landsat e HRV (Haute Résolution Visible)/SPOT, está ainda sendo avaliado.

2.3. Avaliação e/ou Inventário.

Esforços mais recentes e menos intensos, tem sido feitos para a avaliação de áreas de ocupação e de fitomassa de coberturas vegetais naturais, e para o inventário florestal. Estes trabalhos, tem combinado técnicas de análise digital de dados multiespectrais, com levantamentos de campo complementares, envolvendo a aplicação de técnicas convencionais de amostragem e emprego de sensores radiométricos no campo, para medidas do comportamento espectral da cobertura vegetal.

As abordagens utilizadas vêm evoluindo paulatinamente, começando com o uso de grades de pontos para a contagem de áreas temáticas, o emprego de algoritmos de avaliação de áreas por computador e mesas digitalizadoras. Em seguida, usando abordagem multiestágio para o inventário florestal, com imagens MSS 5 e 7 na escala de 1:250.000, fotografias aéreas infravermelho coloridas (1:20.000) e dados dendrométricos medidos no campo, combinados por uma amostragem multiestágio. Finalmente, o esforço tem sido direcionado para a estimativa de fitomassa aérea foliar das unidades fisionômicas de cerrado (sensu strictu) e de campo limpo de cerrado, com o uso de índices de vegetação obtidos pela combinação dos canais visível (MSS 5 ou TM 3) e infravermelho próximo (MSS 7 ou TM 4-5).

As imagens orbitais, com o uso de abordagens digital e visual, têm se mostrado bastante úteis, para a avaliação de áreas ocupadas com classes temáticas, revelando diferentes tipos de cobertura vegetal. As poucas estimativas de precisão, têm apresentado resultados satisfatórios. O mesmo pode ser dito, para as avaliações de fitomassa, a partir de índices de vegetação, e o inventário florestal, com o uso de abordagem multiestágios. No entanto, estes resultados encontram-se ainda, num estágio preliminar exigindo validações, aperfeiçoamentos metodológicos e adaptações a novos produtos e sensores, visando a otimização dos métodos desenvolvidos.

2.4. Monitoramento.

As aplicações de sensoriamento remoto orbital, têm revelado maiores possibilidades, para o monitoramento de eventos de natureza dinâmica como: desmatamentos, cortes florestais, queimadas e problemas de fitossanidade e outros de natureza ambientais. O material utilizado, tem variado muito, em função do objetivo a ser atingido. Mas,

considerando-se aplicações mais operacionais, tem sido empregadas imagens fotográficas MSS (5 e 7) e TM (3,4 e 5) preto e branco e composições coloridas falsa-cor, na escala de 1:250.000, para avaliação de desmatamentos na Amazônia. Bem como, imagens digitais AVHRR/NOAA, na escala de 1:5.000.000, para avaliação da ocorrência de queimadas, nesta mesma região. Em casos de problemas limitados e isolados, tem sido empregadas imagens digitais dos sensores MSS e TM/Landsat em grandes escalas (até 1:50.000).

No caso do acompanhamento e controle do processo de desmatamento da Amazônia Legal, tem sido utilizada uma análise visual tradicional de imagens fotográficas e, o cálculo das áreas desmatadas, tem sido efetuados através de contagens de pontos numa grade milimetrada. As áreas de queimadas, tem sido identificadas e localizadas, quase em tempo real, com o uso de uma análise digital das imagens AVHRR (1, 2 e 3) do satélite meteorológico NOAA (7 e 9), com o apoio de imagens TM/Landsat, para estabelecimento de parâmetros de referência na estimativa das áreas queimadas. O monitoramento de casos isolados, necessitam ainda do desenvolvimento de procedimentos operacionais. No caso de reflorestamentos, foram realizadas análises, para a identificação de estágios de desenvolvimento e da situação de culturas florestais, com o uso, também, de abordagem visual.

Como pôde ser observado, os resultados obtidos até o momento, limitaram-se quase exclusivamente ao monitoramento de cobertura vegetal natural. Somente agora, começa a haver o interesse de combinar todas as possibilidades oferecidas pela técnica de sensoriamento remoto, para abordar os problemas típicos ao manejo florestal, com o desenvolvimento de metodologias adequadas. No caso do monitoramento, os resultados encontrados, são realmente operacionais, sendo que a qualidade deles vai depender obviamente da base de dados utilizada.

3. O ESTADO ATUAL.

Os resultados parciais aqui apresentados, resultam de um esforço de equipe, voltado para o levantamento, análise e síntese dos trabalhos de sensoriamento remoto, aplicados no levantamento e controle da cobertura vegetal, em várias partes do mundo, nos últimos três anos. Para isto, foram consultados, todos os números das revistas: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing; Journal of Remote Sensing of Environment; International Journal of Remote Sensing. Os números relativos ao ano de 1989, da revista: Soviet Journal of Remote Sensing, bem como, anais do 5o Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto: Natal-1988; 2o, 3o e o 4o Simpósios Latino Americano de Sensoriamento Remoto: Bogota-1987, Acapulco-1988 e Bariloche-1989; 16o International Symposium on Photogrammetry and Remote Sensing - ISPRS: Tóquio-1988; e o International Geoscience and Remote Sensing Symposium-IGARSS: Michigan-1987 e Edinburg-1988.

A sistemática adotada, foi a mesma do item anterior, ou seja, avaliação do objetivo fundamental, os principais

materiais utilizados, os métodos mais importantes e os principais resultados ou conclusões, separados para cada linha de atuação. Foram classificados e analisados um total de 121 artigos técnico-científicos, distribuídos da seguinte maneira, segundo as linhas de atuação: 1) identificação e/ou caracterização = 31; 2) classificação e/ou mapeamento = 24; 3) avaliação e/ou inventário = 30; e 4) monitoramento = 36.

3.1. Identificação e/ou Caracterização.

Dentro desta linha de atuação, foram classificados e analisados 31 trabalhos, que permitiram identificar três objetivos fundamentais, que vêm norteando as aplicações de sensoriamento remoto em vegetação. Primeiramente, deve-se destacar pelo seu volume de publicação (17 = 55%), a análise de fatores intrínsecos e extrínsecos a cobertura vegetal, capazes de influenciarem a sua resposta espectral, avaliados de forma convencional (11) ou através de modelos de simulação (6). Em seguida, aqueles voltados para a discriminação e a caracterização do comportamento espectral de diferentes tipos de coberturas vegetais ou espécies de plantas, através de medidas radiométricas no campo, por aeronaves e pelo satélite Landsat, abrangendo a faixa do visível ao infravermelho refletido (9). Finalmente, aqueles voltados para outras preocupações, como estudos geobotânicos (3) (Milton e Mouat, 1989; Schwaller, 1987) e avaliação de novos sensores (2).

Como era de se esperar, a maioria (11) dos trabalhos classificados nesta linha de atuação, utilizaram radiômetros e espectroradiômetros, colocados em plataformas no terreno e aeronaves, abrangendo a região espectral do visível ao infravermelho próximo. Os dados de resposta espectral para faixas e comprimentos de onda discriminados, foram normalmente utilizados na forma digital. Em seguida, quase na mesma proporção (10), foram avaliados os produtos, também na forma digital, obtidos pelos sensores de varredura (scanners) simulando ou representando o comportamento dos sensores TM e MSS/Landsat. Mostrando, desta forma, a necessidade que ainda existe, na compreensão do comportamento espectral nestas faixas do espectro eletromagnético. Apenas três trabalhos tiveram a preocupação de avaliar os comprimentos de onda do infravermelho termal (Luvall e Holbo, 1989; Holbo e Luvall, 1989).

Observa-se uma tendência mais atual, de explorar os dados digitais obtidos por sensores de microondas (8), colocados a bordo de aeronaves principalmente (Hoekman, 1987; Hirose, 1988; Hallikainen e Jolma, 1987). Este crescente interesse, é devido as expectativas que se abrem, com a colocação desses radares a bordo de satélites. Procura-se, desta forma, auxiliar no processo de seleção de bandas, polarização e sensores mais adequados as aplicações, particularmente na área florestal. Os demais trabalhos foram de cunho exploratório, visando a avaliação de outros tipos de sensores (1), ou comparativos, combinando mais de um tipo de sensor (2).

Os métodos empregados para avaliar a influência de variáveis intrínsecas e extrínsecas da cobertura vegetal, como aquelas relacionadas a estrutura e dinâmica da vegetação, ao ambiente (solo, topografia, etc.) e aquelas próprias ao sistema sensor (ângulo de visada e de elevação solar, etc.), consistiram basicamente em análises comparativas multiespectrais e estatísticas. Algumas (2) dessas medidas de reflectância ou emitância, foram empregadas para o desenvolvimento e validação de modelos de simulação da influência desses fatores. No caso de se avaliar a capacidade de discriminação e/ou caracterização da vegetação a partir dos sensores MSS (Walsh, 1987; Singh, 1987) e TM/Landsat (Leprieur et al., 1988; Pierce e Congalton, 1988), foram empregados dados digitais, simulados a bordo de aeronaves ou, diretamente, das imagens originais. Para a análise dessas respostas, foram utilizadas abordagens estatísticas, empregando principalmente análise de regressão, discriminante e medidas de divergência.

Abordagens estatísticas semelhantes, também tem sido empregadas, para a análise de dados digitais de sensores de microondas. Nestes casos, o interesse tem sido avaliar os efeitos de atenuações e retroespalhamento, provocados pela interação dessas ondas, com os indivíduos florestais (árvores) e seus componentes fundamentais (tronco, galho, pecíolo e folha), considerando diferentes faixas espectrais (C, X e L), polarizações (HH, VV, HV e VH) e ângulos de incidência. Algumas tentativas já foram efetuadas, para o desenvolvimento de modelos de simulação. Casos mais particulares (3), têm se preocupado em avaliar, principalmente, os produtos digitais do TM/Landsat, para discriminar a presença de anomalias vegetais, provocadas por fenômenos geoquímicos do substrato, a partir do uso de técnicas de realce de dados e abordagens estatísticas.

Os resultados encontrados, tem demonstrado, em diferentes níveis de detalhamento, a influência da topografia do terreno, do ângulo de elevação solar, do ângulo de visada do sensor e da estrutura da cobertura vegetal, no seu comportamento espectral.

Para os casos mais aplicados, voltados para a discriminação e caracterização da resposta espectral da cobertura vegetal nas imagens MSS e TM/Landsat, a experiência tem demonstrado que, esses valores digitais são influenciados também pelas características das folhas e densidade de galhos, bem como, pelo estado de fitossanidade e fenologia da planta. Estes dados tem sido usados para desenvolvimento e teste de índices de vegetação.

Resultados mais interessantes vem sendo obtidos, com os sensores de microondas, que têm demonstrado a possibilidade de maior detalhamento do nível de informação, dado que, o comportamento espectral da cobertura vegetal, tem revelado a influência da estrutura da folha, galhos e troncos, da estratificação da cobertura e do teor de umidade da planta e do solo. Os resultados apresentados, ainda no nível de levantamento de potencialidades, têm destacado a capacidade desses sensores na discriminação dessas variáveis, através da

observação dos seus efeitos, sobre as características de retroespalhamento e atenuação, sofridas pela interação dos sinais com a cobertura vegetal.

Finalmente, no caso dos estudos geobotânicos, os resultados encontram-se num estágio preliminar de levantamento de potencialidade, do uso de imagens de sensoriamento remoto, para a identificação de áreas com anomalias geoquímicas. Os resultados apresentados, tem demonstrado que, a cobertura vegetal possui resposta espectral característica, revelando a influência bioquímica do substrato no seu comportamento espectral, principalmente, na região do infravermelho próximo.

3.2. Classificação e/ou Mapeamento.

Dos 24 trabalhos identificados e classificados dentro desta linha de atuação, a maioria (9 = 38%) estão voltados para a atividade de aplicação da metodologia convencional, para o levantamento da cobertura vegetal de regiões variadas (tropicais e temperadas), adaptando-as aos novos sistemas sensores, como por exemplo os trabalhos de Townshend et al. (1987), Hopkins et al. (1988) e Giddings (1989). Uma quantidade significativa (8 = 33%) procuraram avaliar a precisão do mapeamento da cobertura vegetal natural e de florestas plantadas, utilizando abordagens mais sofisticadas e eficientes, aplicadas em condições ambientais mais problemáticas, como relevo acidentado, condições ecológicas variadas e distribuição espacial no terreno desfavorável a sua localização (parcelas pequenas e espalhadas), como por exemplo, os trabalhos de Cibula e Nyquist (1987), Karteris (1988) e Guillon (1989). Alguns poucos trabalhos (5 = 21%), tiveram as suas preocupações voltadas, para a comparação dos produtos de novos sistemas sensores com os convencionais (MSS principalmente), dentro dos mesmos princípios apontados para o primeiro caso, ou de abordagens mistas (visuais e digitais) podendo-se mencionar os trabalhos de Ford e Casey (1988) e Kuhneg et al. (1989). Uma pequena parcela (2 = 8%) procuraram o desenvolvimento de técnicas mais sofisticadas de classificação de imagens digitais, para o mapeamento da cobertura vegetal (Skidmore, 1989).

A análise dos materiais empregados nesses diversos trabalhos, mostrou que após quase duas décadas de utilização de imagens MSS/Landsat, estes dados ainda estão sendo avaliados em diversas regiões dos EUA. Com a evolução tecnológica da série Landsat, apareceram em 1984 os produtos do Thematic Mapper -TM, que passaram a ser utilizados em diferentes países, explorando a sua melhor resolução espacial e espectral, principalmente sob condições ambientais mais desfavoráveis (relevo, parcelamento). Continuando este desenvolvimento tecnológico, vieram em 1986 as imagens SPOT, com dois novos produtos, o sensor Haute Resolution Visible-HRV: Multiespectral-XS e Pancromático-P. Estes produtos apresentam uma resolução espacial ainda melhor do que a do TM/Landsat. Caminhando em direção oposta, começaram a ser utilizadas intensamente nos últimos anos, as imagens meteorológicas AVHRR/NOAA, que apesar de apresentarem baixa

resolução espacial (1,1 km no nadir), possuem uma alta resolução temporal (4 imagens por dia) e cobrem, numa única imagem, toda uma superfície continental correspondente a uma faixa de 2700 km de largura e comprimento variável. Cinco outros estudos foram realizados, comparando esses diversos produtos, de modo a realçar as características intrínsecas de cada um deles, bem como, a usá-los de maneira combinada, para atingir os melhores resultados possíveis.

Dos trabalhos analisados, uma pequena parcela de apenas quatro empregaram uma abordagem metodológica convencional, interpretando visualmente imagens fotográficas preto e branco, transparências e papel colorido em grandes escalas (1:50.000 e 1:100.000), a partir de aspectos tonais e texturais (Karteris, 1988). No geral (21 = 87%), foi utilizada a análise digital de dados orbitais como ferramenta básica para a classificação e/ou mapeamento da cobertura vegetal. Destes, três (p.e. Ford e Casey, 1988) usaram abordagem estatística não-convencional, para a análise de imagens corrigidas e realçadas. Outros dois (p.e. Felix e Binney, 1989), utilizaram classificação digital não-supervisionada modificada, combinada com outros procedimentos metodológicos não convencionais, da mesma forma como foi feito por Townshend et al. (1987) e Guillon (1989), porém empregando classificação supervisionada. Um estudo comparativo entre dois sistemas de classificação, usando três algoritmos diferentes, foi realizado por Skidmore e Turner (1988).

Revelando uma tendência mais atual, na metade dos trabalhos analisados foi empregado um procedimento misto, combinando de diferentes maneiras e com diferentes objetivos, análise visual convencional de imagens com a análise digital, sobre dados normalmente corrigidos radiométrica e geometricamente, e realçados por diferentes métodos. Quatro autores, entre eles Giddings (1989) e Hopkins et al. (1988), empregaram somente o algoritmo de classificação supervisionada com máxima verossimilhança (MAXVER). A maioria combinou classificação não-supervisionada com supervisionada (MAXVER). Um trabalho mais complexo, acrescentando classificação supervisionada não-paramétrica e, desenvolvendo um sistema especialista, para a análise automática de dados, foi apresentado por Skidmore (1989).

A maioria desses trabalhos está apoiada em fotografias aéreas e mapas temáticos já existentes e, em alguns casos, numa infraestrutura de campo com equipes de apoio especializadas e helicópteros. A tendência mais atual tem sido a combinação de outros sistemas de tratamento de dados, como o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e modelos Digitais de Terreno (DTM). Bem como, o aporte de informações multitemporais, que tem se mostrado como meio efetivo, para aumentar a qualidade dos resultados obtidos.

A análise visual de imagens, mostrou um nível de detalhamento compatível com o nível II de Anderson et al. (1976), variando em torno de 5 classes de cobertura dependendo das formações vegetais consideradas, restrições ambientais e outras. O nível de acuracidade ou precisão de

localização, interpretação ou mapeamento, mostrou-se também adequado para as necessidades básicas de manejo florestal, variando, nos casos analisados, em torno de 90% para a escala de 1:50.000.

Por outro lado, os resultados obtidos com a análise digital dos dados orbitais, sem grandes sofisticações metodológicas, mostraram-se em geral, pobres e variáveis em função da problemática abordada, considerando-se principalmente a vegetação tropical e comparações com levantamentos fitossociológicos. Resultados semelhantes foram obtidos com o uso de apenas classificação digital não-supervisionada. Uma significativa melhora foi obtida com o uso de classificação supervisionada com algoritmo de máxima verossimilhança, mas ainda inferiores ao da análise visual, variando em torno de 60%.

Resultados mais favoráveis foram atingidos com o uso de abordagens digitais mais sofisticadas, ou seja, o mesmo nível de detalhamento obtido nas análises visuais, mas, ainda, inferiores ao seu nível de acuracidade/precisão. A conjugação de informações adicionais, através de modelos digitais do terreno e outros planos informacionais armazenados em sistemas de informações geográficas, permitem atingir os valores obtidos com as análises visuais. O aporte de aspectos multitemporais dos dados orbitais, consolidam ainda mais esses resultados. Porém, no geral, eles foram considerados como promissores, mas ainda preliminares, dependendo do nível e tipo de informação requerida e das características das áreas sob estudo. Generalizações extensivas foram também consideradas como prematuras, sugerindo-se estudos mais detalhados em áreas mais extensas, sob condições ambientais variadas e com maiores repetições. Bem como, o aperfeiçoamento das técnicas de processamento, principalmente para os novos sistemas de sensoriamento remoto e, ainda, o desenvolvimento de outros procedimentos de análise.

3.3. Avaliação e/ou Inventário.

Dos 30 trabalhos classificados dentro desta linha de atuação, a maioria (12 = 40%) foi dirigida para a estimativa de biomassa, quer seja lenhosa ou herbácea, em vários domínios de vegetação como por exemplo os trabalhos de Valeriano e Pereira(1988), Santos (1988) e Gross e Kleman (1988). Em seguida, pode-se mencionar aqueles trabalhos (9 = 30%) que tinham como preocupação principal o inventário florestal, como por exemplo os trabalhos de Sato e Hoshi (1988) e Paine e McCaden (1988). Um outro interesse (5 = 16%) foi a estimativa de áreas mapeadas apresentando danos ou alterações diversas, como por exemplo o trabalho realizado por Serafini et al. (1989) e Ciesla et al. (1989). Um pequeno grupo de 4 trabalhos (13%) apresentaram interesses mais específicos, como a contagem de copas de árvores, estimativa de produtividade, análises estruturais da vegetação e geobotânicas.

A maior parte destes trabalhos (11 = 37%), utilizaram como produto básico, dados orbitais do sistema TM/Landsat,

explorando a sua melhor resolução espacial e espectral, para a análise quantitativa dos recursos florestais. Outros (3 = 10%), fizeram estudos comparativos ou complementares multisensores (TM e HRV), buscando indicadores para análises custo/benefício, como também, do nível de detalhamento do resultado obtido e a precisão agregada. Fotos aéreas de formato pequeno (35 e 70 mm) foram também utilizadas por um igual número de autores (3 = 10%), visando principalmente o preenchimento de lacunas amostrais para levantamentos quantitativos (abordagem multiestágio). Apenas um trabalho (2%), teve ainda preocupação em avaliar imagens MSS/Landsat, com essa finalidade, apesar da sua relativamente pequena resolução espacial de 80 metros.

Os procedimentos metodológicos adotados, foram bem variados, concentrando-se sobretudo no uso de análise digital de dados orbitais (13 = 43%), procurando adequar modelos de regressão, com função linear e exponencial, e correlação, para a estimativa de biomassa foliar e/ou lenhosa. Para isso, foram utilizados índices de vegetação transformado (TVI) e de diferença normalizada (NVDI), obtidos principalmente a partir de dados digitais TM/Landsat. Alguns destes trabalhos, empregaram análises de correlação e regressão múltipla, associando principalmente estes mesmos dados, com outros parâmetros florestais, para a estimativa de produtividade primária. Para a classificação das imagens, foram utilizadas sobretudo técnicas supervisionadas através de algoritmo de máxima verossimilhança.

Uma parte significativa (7 = 23%) realizou análise visual de fotos aéreas, utilizando métodos convencionais de fotointerpretação, para a estimativa de áreas ocupadas por diferentes tipos de vegetação. A abordagem em múltiplo estágio, onde se utiliza simultaneamente dados de satélite, aeronave e campo, foi empregada para avaliar área e volume de madeira de áreas florestadas. Metodologias mais específicas foram desenvolvidas para a análise combinada de dados analógicos e digitais de outros sistemas sensores, como radar de abertura sintética (SAR-1) e HRV/SPOT, enfatizando procedimentos de filtragem e recombinação de canais (2 = 7%).

Uma pequena parte dos trabalhos analisados (4 = 13%), empregou medidas radiométricas no campo de diferentes tipos de cobertura vegetal natural, comparando-as com dados de fitomassa obtidos também no campo, a partir de análises de correlações. Um caso isolado deve ser destacado, pelo seu aspecto inusitado, de estimar a quantidade de lignina em florestas decíduais, a partir de medidas radiométricas e do teor de nitrogênio, analisadas por regressão "stepwise". Abordagens mais específicas foram empregadas por um pequeno número de autores (4 = 13%) a partir de revisões bibliográficas, enfatizando a estimativa de fitomassa e volume de madeira, através da adequação de modelos, tendo em vista parâmetros estruturais e de reflectância da cobertura florestal.

Os resultados encontrados, que na sua maior parte (12=40%) estão no nível de desenvolvimento metodológico ou avaliação de aplicabilidade (6 = 20%), estão voltados

fundamentalmente para a seleção de índices de vegetação para a estimativa de fitomassa aérea de vegetação natural, sobretudo de cerrado. Neste caso, os melhores desempenhos foram obtidos com a combinação dos canais 4 e 3 do TM/Landsat, explicando cerca de 72% das variações encontradas na fitomassa estimada teoricamente pela análise de regressão exponencial. Outros resultados mostraram que para a floresta tropical, estes índices de vegetação não são bons estimadores de variáveis estruturais, tais como, altura e diâmetro (Sader et al., 1989). Em área onde predominam vegetação de campos, a banda TM3, mostrou as melhores correlações com a fitomassa (Paris e Kwong, 1988).

Muitos resultados (5 = 17%) mostraram que, medidas radiométricas no campo podem ser relacionadas com diferentes parâmetros biométricos da vegetação, tais como estimativas de fitomassa em campos-cerrado (Valeriano e Pereira, 1988), teor de lignina em floresta de decíduas (Wessman et al., 1989), ou teor de nitrogênio da folha (Plummer, 1987). Mas estes resultados ainda apresentam muita variação e devem ser mais investigados, porém, de uma maneira geral, eles mostram que a relação entre as duas bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, são as mais indicadas para estudos desta natureza.

A estimativa de volume de madeira com o uso de abordagem multiestágio obteve num dos casos analisados, uma precisão de mapeamento de áreas de Pinus e Eucalyptus de 83,8% e 90%, respectivamente. Na fase de inventário foi estimado um erro de 16% no volume de madeira de Pinus e Eucalyptus, estimado por esta abordagem, ao nível de 95% do intervalo de confiança (Novaes et al., 1987).

3.4. Monitoramento.

Nesta linha de atuação, em que a tecnologia espacial pode fornecer informações utilizáveis no monitoramento dos recursos vegetais, foram identificados 36 trabalhos, voltados quase exclusivamente para a temática de monitoramento. Dos problemas abordados, a maioria (16 = 44%), está relacionada ao acompanhamento da taxa de incremento do desmatamento intra-anual de florestas tropicais, seguidos de estudos preocupados com os danos provocados por pragas e doenças (7 = 19%), sobretudo em florestas temperadas; a análise e avaliação das condições fenológicas (4 = 11%); além de alguns casos de queimadas (3 = 8%).

Pode-se constatar que, a grande maioria (62%) dos trabalhos estão ainda explorando a capacidade temporal dos dados Landsat, aparecendo em seguida, com grande impulso nos últimos anos, o uso dos dados AVHRR/NOAA (18%), principalmente para a detecção de áreas desmatadas e queimadas, em escalas continentais ou regionais. Os dados do sensor HRV/SPOT, apesar da sua grande potencialidade, vêm sendo pouco avaliados na literatura consultada, aparecendo também com pouca ênfase os produtos fotográficos 35 mm, tomados de helicópteros e/ou aeronaves em baixa altitude (p.e., Tueller et al., 1988).

As aplicações no monitoramento de alterações na cobertura florestal, tem mostrado amplas variações indo desde o acompanhamento de desmatamentos na Floresta Amazônica (p.e., Lorensi & Giotto, 1988; Artieda, 1989) com o uso de dados MSS e TM/Landsat; passando por acompanhamento de dinâmicas florestais e campos naturais, com dados HRV/SPOT (Agatsiva et al., 1989); até o monitoramento global do processo de desmatamento em áreas tropicais (Malingreau et al. 1989), utilizando imagens digitais AVHRR/NOAA. O mesmo pode ser praticamente dito nos estudos das condições de fitossanidade da vegetação, que exploraram principalmente os dados MSS e TM/Landsat (p.e., Vogelmann e Rock, 1988), mas onde aparece com destaque a avaliação de novos sensores de alta resolução espectral, o Airborne Imaging Spectrometer (AI-2) e o Daedulus Airborne Thematic Mapper (ASTM) operando respectivamente nas faixas espectrais de 0,8 a 2,2 μm e 0,42 a 13,0 μm , colocados a bordo de aeronaves, para o estudo de danos em florestas temperadas (Herrmann et al., 1988).

No caso de análises fenológicas, principalmente em escala regional, trabalhos com dados AVHRR/NOAA, têm sido satisfatoriamente realizados, podendo-se citar como exemplo o de Kennedy (1989), avaliando áreas de pastagens e o de Lloyd (1989) em florestas decíduas e sempre-verdes. No caso específico de estresse hídrico pode-se citar o trabalho de Singh e Saull (1988). Com este mesmo produto, vem sendo desenvolvido um trabalho de desenvolvimento metodológico, para a detecção de queimadas em tempo quase-real, efetuado por Pereira e Setzer (1988), que está em fase de validação operacional, faltando porém, um avanço metodológico a respeito da estimativa de área.

De uma maneira geral, não se observou ainda nestes trabalhos, uma preocupação em testar uma abordagem multisensor, para explorar de forma mais efetiva, os aspectos temporais, aliados às particularidades intrínsecas de cada sensor, no monitoramento florestal, como foi o caso do trabalho de Herrmann et al. (1988). O caráter convencional foi enfatizado, desde a análise visual de imagens visando a identificação e delimitação de classes homogêneas (função de parâmetros como tonalidade, textura fotográfica), até a classificação digital (análise de agrupamentos não-supervisionada, máxima verossimilhança supervisionada), com o apoio de trabalho de campo e levantamentos aéreos.

Os passos metodológicos normalmente empregados, conforme sintetizado por Sukkikl e Isaev (1988) podem ser resumidos em várias fases, desde a definição e delimitação de classes (estratos) em um mapeamento temático, até um processamento digital de dados estatísticos, para a caracterização qualitativa e quantitativa dos recursos florestais, não esquecendo contudo, a compilação e plotagem cartográfica. No caso isolado de análise de dados de radar, o procedimento metodológico tem, segundo Till et al. (1988), procurado aprofundar o conhecimento da interação radar/alvo, incluindo pesquisas para o processamento e técnicas interpretativas de dados orbitais.

A preocupação no desenvolvimento de novos métodos de análise, tem sido uma preocupação significativa (26% dos trabalhos analisados), direcionando-se sobretudo para os chamados "índices de vegetação", que são modelos numéricos de combinação lineares ou não, de bandas espectrais, o que permite integrar as características específicas de várias bandas, numa só resposta espectral (p.e., Singh e Saull, 1988; Malingreau et al., 1989; Kennedy, 1989). Ainda nesta discussão do procedimento metodológico, deve-se fazer também referência a "estimativa de área". A quantificação é uma fase importante no trabalho de monitoramento, principalmente aqueles ligados as estimativas de desmatamentos e queimadas. Lorenzi e Giotto (1988), no estudo de quantificação de alteração na cobertura vegetal natural em Rondônia, examina as estimativas obtidas por diversos métodos amostrais (pontos sistemáticos, distribuição amostral de frequências equivalentes e dos transectos).

PERSPECTIVAS

A década de noventa apresenta uma boa perspectiva na área de sensoriamento remoto com o lançamento de novas plataformas de coleta de dados e sensores, a continuação dos programas espaciais existentes, com o aperfeiçoamento dos seus sensores, e a definição de vários projetos de aplicação no levantamento dos recursos vegetais.

Dando continuidade aos atuais programas Landsat e SPOT, estão sendo operacionalizadas importantes modificações nos seus sensores. No caso do Landsat, o sensor Thematic Mapper - TM apresentará uma melhor resolução espacial e radiométrica, que deverá ampliar ainda mais as suas já numerosas aplicações. E, no caso do SPOT, será introduzida uma nova faixa espectral (entre 1,5 e 1,7 μ m) voltada fundamentalmente para o monitoramento global da vegetação, com uma resolução igual a atual (20 m). Aumentando ainda mais esta possibilidade, será também incluído um novo sensor, enfaticamente chamado "vegetation", mostrando assim o seu grande potencial para o monitoramento contínuo e global da vegetação em tempo quase real.

A nível nacional estão sendo desenvolvidos dois ambiciosos programas de sensoriamento remoto, o CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite) e o MECB (Missão Espacial Completa Brasileira). O programa CBERS em desenvolvimento conjunto pela China e Brasil, pretende lançar em 1993 e 1995 dois satélites de sensoriamento remoto. Ele tem como principal objetivo o domínio tecnológico de construção de sensores, a colocação e o controle em órbita de satélites voltados para a observação dos recursos terrestres, com características semelhantes aos atuais da série Landsat. A missão MECB pretende construir um sensor para ser colocado a bordo de um satélite brasileiro cujo lançamento está previsto para 1995. A sua característica inovadora, será a aliança de uma média repetitividade (4 dias) com uma grande visão sinótica, permitindo um monitoramento efetivo da vegetação brasileira, abrindo amplas perspectivas para esta área de aplicação.

As grandes novidades estão reservadas para os novos programas ERS-1 (ESA-Remote Sensing satellite), RADARSAT (Radar Satellite) e Eos (Earth observing system), também de grande potencial para a área florestal. O primeiro, ERS-1 trata-se de uma versão experimental da série de satélites europeus de sensoriamento remoto a ser operacionalizado nesta década. Como o seguinte, ele será equipado com sensores de radar (SAR) de abertura sintética e altímetro. O ERS-1 estará mais voltado para aplicações oceanográficas, costeiras e meteorológicas, podendo também oferecer informações relevantes para a área florestal.

O segundo, RADARSAT será a primeira versão operacional do emprego no espaço de um radar com abertura sintética (SAR), operando na banda C (5,3GHz) e com polarização horizontal (HH). Entre as suas potencialidades aquelas que despertam maior interesse para o setor florestal e o Brasil, são a capacidade de observar alvos mesmo sob condições de cobertura de nuvens e fumaças, que tem limitado os atuais sensores em operação, a de fazer observações mesmo durante a noite e, por último, a de apresentar diferentes níveis de penetração na cobertura vegetal em função das faixas espectrais selecionadas, fornecendo assim informações preciosas para o manejo florestal como: altura de plantas; umidade do solo; fisiografia do terreno; etc.

Por fim, o programa EOS que é o mais ambicioso de todos e se propõe a possibilitar o estudo global do planeta Terra, preocupado na interação da atmosfera, oceanos, continentes, e ciclos hidrológico e biogeoquímico. Para isto, o programa EOS engloba desde plataformas de coleta de dados, até projetos de pesquisa científica. Ele representa o início de um sistema de observação global com dezenas de diferentes sistemas sensores atuando nas diversas faixas do espectro eletromagnético (ex., MODIS, HIRIS, SAR, etc.), bem como, a cobertura da Terra por um longo período.

No ano de 1992, considerado como o ano Internacional do Espaço (SAFISY) será desenvolvido um projeto que tem por objetivo avaliar a cobertura mundial de florestas e testar um sistema de monitoramento a nível global. O INPE foi a instituição escolhida pelo Forum das Agências Espaciais responsável pela sua organização, para coordenar o projeto "Monitoramento Global de Florestas", juntamente com o Joint Research Center da Comunidade Européia. O estudo está dividido em três grandes projetos:

- 1) Projeto de Monitoramento Global de Florestas baseado em informações do sensor AVHRR do satélite NOAA, afim de estabelecer uma base mundial de dados da cobertura vegetal do planeta. A avaliação da cobertura e a base de dados serão desenvolvidas por instituições como o INPE, NASA, Agência Espacial Europeia (ESA), Universidade de Tóquio, NOAA, Agência Espacial da Alemanha (DLR), ONU e Centro Canadense de Sensoriamento Remoto;
- 2) Projeto Pan-Amazônia, que visa a avaliação regional da cobertura florestal de toda a Amazônia, através de dados de alta resolução dos satélites Landsat e SPOT. Juntamente com o

INPE participam a NASA, ESA, ONERN (Peru) e CLIRSEN (Equador);

3) Projeto Indochina/Kalimantan, que é um projeto regional da cobertura florestal do sudeste asiático que conta com a participação da Universidade de Tóquio e Associação Asiática de Sensoriamento Remoto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos trabalhos de aplicação de sensoriamento remoto na área de vegetação, tem permitido a definição de quatro grandes linhas de atuação, conforme apresentado neste trabalho, que conduzem ao manejo florestal.

Verifica-se que a etapa de identificação e/ou caracterização da cobertura vegetal brasileira utilizando radiometria de campo, encontra-se num estágio ainda embrionário, em comparação aos avanços obtidos em nível internacional. Este esforço externo, tem sido direcionado fundamentalmente para a compreensão dos mecanismos de interação entre a energia eletromagnética e a cobertura vegetal, através da observação e controle de seus aspectos intrínsecos e extrínsecos, levando ainda em consideração os aspectos de geometria de iluminação e coleta de dados, refletidos ou emitidos por ela. Como consequência natural, têm sido propostos diversos modelos matemáticos capazes de simularem esses comportamentos, permitindo assim a seleção e proposição de sistemas sensores, de forma a auxiliar o processo de análise e interpretação de dados sensoriados. Neste caso específico, vêm sendo utilizados equipamentos de radiometria cada vez mais precisos e sofisticados, abrangendo sobretudo a região refletida do espectro eletromagnético, colocados principalmente em aeronaves operando em níveis intermediários de coleta de dados. Com a perspectiva de lançamento de novos sensores remotos orbitais, têm-se notado um incremento nesta linha de atuação, visando principalmente a região de microondas. Os métodos de análise de dados envolvendo tratamentos estatísticos sofisticados, vem levando esta área à uma rápida e profunda evolução, cujo procedimento de análise, na maioria dos casos, necessita ser reformulado, dado ao grande volume e complexidade da geração de tais dados.

Na etapa de classificação e/ou mapeamento, os objetivos a nível nacional, tem se voltado para o estudo de diferentes tipos de formações vegetais, dado a grande variedade e complexidade da vegetação brasileira, que exige uma grande versatilidade das técnicas empregadas. Esta situação, vem limitando esses esforços na direção de adaptações e acompanhamento das abordagens metodológicas desenvolvidas e a concentração quase absoluta nos dados fornecidos pelos satélites da série Landsat.

Observações semelhantes podem ser feitas para a linha de atuação voltada para a avaliação e/ou inventário de vegetação natural e florestas implantadas. A preocupação mais atual, consiste no emprego de procedimentos digitais para obtenção de índices de vegetação, que podem ser associados com

fitomassa aérea, otimizando esses trabalhos de avaliação de recursos vegetais. Em seguida, destaca-se o uso de abordagem multiestágio para auxiliar no processo de inventário florestal, voltado fundamentalmente para florestas implantadas.

É, entretanto, a linha de atuação direcionada ao monitoramento ambiental, que os dados sensoriados têm permitido as melhores contribuições, com trabalhos voltados para o controle do processo de desmatamento e queimadas numa escala regional e, mesmo, continental. Adicionalmente, a preocupação tem se voltado também para o controle de problemas de fitossanidade e acompanhamento de estados fenológicos, bem como, no controle de incêndios florestais em maciços plantados ou manejados racionalmente. Os resultados mais operacionais tem sido obtidos a nível de monitoramento ambiental que, ainda em sua grande maioria são executados com abordagens convencionais de análise visual dos dados sensoriados, contrariando as expectativas e afirmações quanto as vantagens dos procedimentos automáticos, sobretudo para este tipo de aplicação.

De uma maneira geral pode ser dito, que ainda se faz necessário o detalhamento de cada abordagem metodológica, onde a pesquisa básica continue reforçando conceitos e adequando caminhos à aplicação. Há necessidade também de se considerar os conhecimentos biológicos e ecológicos envolvidos e ainda, que se enfatizem abordagens multisensor, multiescala, multitemporal com o apoio de modelos digitais de terreno e Sistemas de Informações Geográficas para melhorar a eficiência do processo de levantamento e controle de recursos vegetais. Finalmente, deve-se observar que os resultados encontrados têm sido considerados como promissores, mais na maioria dos casos, ainda preliminares, dependendo do nível e do tipo de informação requerida e das características da área geográfica e do alvo sob estudo. Generalizações extensivas, são consideradas como prematuras, sugerindo-se estudos mais detalhados, em áreas mais extensas, sob condições ambientais variadas e com maiores repetições. Bem como, o aperfeiçoamento das técnicas de processamento, principalmente face aos novos sistemas de sensoriamento remoto previstos para esta década, e ainda o desenvolvimento de outros procedimentos de análise.

Em conclusão, verifica-se que a tecnologia de sensoriamento, principalmente a nível orbital, foi rápida e satisfatoriamente dominada no país, mostrando-se como de muita utilidade nas diversas etapas que conduzem ao manejo florestal, auxiliando no estudo de áreas locais ou regionais. Diante das perspectivas mencionadas, a comunidade científica brasileira deve estar atenta e efetivamente participativa nos esforços que vem sendo realizados a nível internacional, para o desenvolvimento de novos sistemas sensores, cujos produtos prometem grandes novidades para a área florestal.

Bibliografia

1. Geral.

ADRIEN, P.M.; M.F.BAUMBARDNER. Landsat, computers, and development projects. Science, 198:466-470, 1977.

CARVALHO, V.C. Síntese e análise dos 25 anos (1961-1986) de atividades do INPE/SRE voltadas para a área de vegetação/floresta. INPE, São José dos Campos, 1989. (INPE-4969-PRE/604).

CARVALHO, V.C.; Y.E. SHIMABUKURO. Aplicações de técnicas de sensoriamento remoto no estudo de vegetação e reflorestamento no INPE (1973-1989): uma análise por linhas de atuação (Parte 2). Em publicação.

2. Identificação e/ou Caracterização.

HALLIKAINEN, M.; P. JOLMA. Satellite microwave radiometry of forest and surface types. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM (IGARSS'87), Ann Arbor, USA, 1987.

HIROSAWA, H. Discussions on a phenomenon that forest edges do not accompany radar shadow in L-band airborne SAR images. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 7, Kyoto, Japão, 1988.

HOEKMAN, D.H. Measurements of the backscatter and attenuation properties of forest stands at X, C and L-band. Remote Sensing of Environment, 23:397-416, 1987.

HOLBO, H.R.; J.C. LUVALL. Modeling surface temperature distributions in forest landscapes. Remote Sensing of Environment, 27:11-24, 1989.

LEPRIEUR, C.E.; J.M. DURAND; J.L. PEYRON. Influence of topography on forest reflectance using Landsat thematic mapper and digital terrain data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54(4):491-496, 1988.

LUVALL, J.C.; H.R. HOLBO. Measurements of short-term thermal responses of coniferous forest canopies using thermal scanner data. Remote Sensing of Environment, 27:1-10, 1989.

MILTON, N.M.; D.A. MOUAT. Remote sensing of vegetation responses to natural and cultural environmental conditions. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 55(8):1167-1173, 1989.

PIERCE, L.L.; R.G. CONGALTON. A methodology for mapping forest latent heat flux densities using remote sensing. Remote Sensing of Environment, 24:405-418, 1988.

SCHWALLER, M.R. A geobotanical investigation based on linear discriminant and profile analyses of Airborne Thematic Mapper Simulator data. Remote Sensing of Environment, 23:23-34, 1987.

SINGH, A. Spectral separability of tropical cover classes. Int. J. Remote Sensing, 8(7):971-979, 1987.

WALSH, S.J. Variability of Landsat MSS spectral responses of forest in relation to stand and site characteristics. Int. J. Remote Sensing, 8(9):1289-1299, 1987.

3. Classificação e/ou Mapeamento.

ANDERSON, J.R.; E.E.HARDY; J.T.ROACH; R.E.WITMER. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. Geological Survey Prof. Paper 964, 1976.

CIBULA, W.G. and M.O. NYQUIST. Use of topographic and climatological models in a geographical data base to improve Landsat MSS classification for Olympic National Park. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 53(1):67-75, 1987.

FELIX, N.A. and D.L. BINNEY. Accuracy assessment of a Landsat-assisted vegetation map of the coastal plain of the Arctic National Wildlife Refuge. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 55(4):475-478, 1989.

FORD, J.P. and D.J. CASEY. Shuttle radar mapping with diverse incidence angles in the rainforest of Borneo. Int. J. Remote Sensing, 9(5):927-943, 1988.

GIDDINGS, L. Zonas de vegetación de Sud America: técnica de estudio en base a AVHRR de NOAA. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO SOBRE SENSORES REMOTOS, 3., Acapulco, Guerrero-Mexico, 5-9 Dec.1988. Memoria. México, SELPER-IG/UNAM, 1989. p.6-9.

GUILLON, L. Relevamiento florestal en Cordoba mediante imagen Landsat TM. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO SOBRE SENSORES REMOTOS, 4., Bariloche-Argentina, 19-24 Nov.1989. Anais. SELPER, 1989. V.1, p.181-189.

HOPKINS, P.F.; A.L. MACLEAN; T.M. LILLESAND. Assessment of thematic mapper imagery for forestry applications under Lake States conditions. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54(1):61-68, 1988.

KARTERIS, M.A. Manual interpretation of small forestlands on Landsat MSS data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54(6):751-755, 1988.

KUHNEG, G.A.; A.M.CABRER D.; J.P.BERASALUCE P. Estudios de diagnosticos obtenidos el sector agrícola, florestal y ganadero mediante uso de imagenes Landsat MSS, TM e SPOT. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO SOBRE SENSORIAMENTO REMOTO, 4., Bariloche-Argentina, 19-24 Nov.1989. Anais. SELPER, 1989. V.1, p.51-71.

SKIDMORE, A.K. An expert system classifies Eucalypt forest types using Thematic Mapper data and a digital terrain model. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 55(10):1449-1464, 1989.

SKIDMORE, A.K. and B.J. TURNER. Forest mapping accuracies are improved using a supervised nonparametric classifier with SPOT data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54(10):1415-1421, 1988.

TOWNSHEND, J.R.G.; C.O. JUSTICE; V. KALB. Characterization and classification of South American land cover types using satellite data. Int.J.Remote Sensing, 8(8):1189-1207, 1987.

4. Avaliação e/ou Inventário.

CIESLA, W.M.; C.W. DULL; R.E. ACCIATTI. Interpretation of SPOT-1 Color composites for mapping defoliation of hardwood forest by Gypsy Moth. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 55(10):1465-1470, 1989.

GROSS, M.F.; V. KLEMAS. Remote sensing of biomass of salt marsh vegetation in France. Int. J. Remote Sensing, 9(3):397-408, 1988.

NOVAES, R.A.; D.C.L. LEE; P. HERNANDEZ FILHO; A.P.SANTOS; F.J.PONZONI. Nation-wide forest mapping and timber volume estimation. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 2., Bogotá, Colombia, 1987. Anais, SELPER, Bogotá, 1987.

PAINE, D.P.; R.J. McCADDEN. Simplified forest inventory using large-scale 70 mm photography and tariff tables. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54(10):1423-1427, 1988.

PARIS, J.F.; H.H. KWONG. Characterization of vegetation with combined thematic mapper (TM) and shuttle imaging radar (SIR-B) image data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54(8):1187-1193, 1988.

PLUMMER, S.E. Exploring the relationships between leaf nitrogen content, biomass and the near-infrared/red reflectance ratio. Int. J. Remote Sensing, 9(1):177-183, 1988.

SADER, S.A.; R.B. WAIDE; W.T. LAWRENCE; A.T. JOYCE. Tropical forest biomass and successional age class relationships to a vegetation index derived from Landsat TM data. Remote Sensing of Environment, (28):143-156, 1989.

SANTOS, J.R. TVI: Um modelo numérico para estimativa global da fitomassa dos cerrados brasileiros. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., Natal, 11 a 15 de outubro de 1988. Anais, São José dos Campos, INPE, V.3, p.684-689.

SATO, K.; T. HOSHI. Approach to estimation of Mangrove Resources using Remote Sensing and a Trial in Okinawa. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 7, Kyoto, Japão, 1988. Anais, Kyoto.

SERAFINI, C.; D. DIAZ; C. SILVERSTEIN. Evaluacion de los recursos forestales en el delta Bonaerense mediante interpretacion digital de datos del mapeador tematico del Landsat. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO SOBRE SENSORES REMOTOS, 3, México, 5 a 9 de dezembro de 1988. Anais, México, SELPER, p.36-40.

VALERIANO, D.M.; M.D.B. PEREIRA. Relações entre a biomassa aérea do estrato rasteiro do cerrado e sua reflectância espectral. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., Natal, 11 a 15 de out.de 1988. Anais. São José dos Campos, INPE, 1988. V.3:643-649.

WESSMAN, C.A.; J.D. ABER; D.L. PETERSON. An evaluation of imaging spectrometry for estimating forest canopy chemistry. Int. J. Remote Sensing, 10(8):1293-1316, 1989.

5. Monitoramento.

AGATSIVA, J.L.; DELSOL, J.P.; TERRES, J.M. Monitoring forest cover transformation on Kikuyu escarpment using remote sensing data. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO SOBRE SENSORES REMOTO, 4., Bariloche-Argentina, 19-24 Nov. 1989. Anais, SELPER, 1989. V.1, p.239-249.

ARTIEDA, A.G. Analisis multitemporal de imagenes Landsat deforestacion de la region Amazonica Ecuatoriana. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO SOBRE SENSORES REMOTO, 4., Bariloche-Argentina, 19-24 Nov. 1989. Anais, SELPER, 1989. V.1, p.209-222.

HERRMANN, K.; B.N. ROCK; U. AMMER; H.N. PALEY. Preliminary assessment of airborne imaging spectrometer and airborne thematic mapper data acquired for forest decline areas in the Federal Republic of Germany. Remote Sensing of Environment, 24:129-149, 1988.

KENNEDY, P.J. Monitoring the phenology of Tunisian grazing lands. Int. J. Remote Sensing, 10(4-5):835-845, 1989.

LLOYD, D. A phenological description of Iberian vegetation using short wave vegetation index imagery. Int. J. Remote Sensing, 10(4-5):827-833, 1989.

- LORENSI, C.J.; GIOTTO, E. Quantificação da alteração da cobertura vegetal natural e análise temporal em uma área teste no estado de Rondônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., Natal, 11 a 15 de out.de 1988. Anais. São José dos Campos, INPE, 1988. V.3,p.637-642.
- MALINGREAU, J.P.; C.J. TUCKER; N. LAPORTE. AVHRR for monitoring global tropical deforestation. Int. J. Remote Sensing, 10(4-5):855-867, 1989.
- PEREIRA, M.C.; A.W. SETZER. Monitoramento de queimadas na Amazônia Legal com imagens AVHRR/NOAA, no ano de 1987. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., Natal, 11 a 15 de out.de 1988. Anais. São José dos Campos, INPE, 1988. V.3, p.716-725.
- SINGH, S.M.; SAULL, R.J. The effect of atmospheric correction on the interpretation of multitemporal AVHRR-derived vegetation index dynamics. Remote Sensing of Environment, 25:37-51, 1988.
- SUKHIKH, V.I.; A.S. ISAEV. Aerial space monitoring of forest resources. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 7., Kyoto, Japão, 1988. Anais, Kyoto.
- TILL, S.M.; A.L. GRAY; F.J. AHERN. Remote sensing for forest resource management: CCRS advances in electro-optical and radar imaging systems. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 7., Kyoto, Japão, 1988. Anais, Kyoto.
- TUELLER, P.T.; P.C. LENT; R.D. STAGER; E.A. JACOBSEN; K.A. PLATOU. Rangeland vegetation changes measured from helicopter-borne 35-mm aerial photography. Photogrammetric engineering and Remote Sensing, 54(5):609-614, 1988.
- VOGELMANN, J.E.; B.N. ROCK. Assessing forest damage in high-elevation coniferous forests in Vermont and New Hampshire using thematic mapper data. Remote Sensing of Environment, 24:227-246, 1988.