

TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO COMO SUBSÍDIOS AOS ESTUDOS DE FLORESTAS IMPLANTADAS NO BRASIL – UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**REVIEW OF THE TECHNIQUES OF REMOTE SENSING AS SUBSIDY TO THE STUDIES OF IMPLANTED FOREST IN BRAZIL**

Celso Coelho de Souza¹ Adelson de Azevedo Moreira² Rafaele Silva Schimith³
Pedro Christo Brandão⁴ Elias Silva⁵

RESUMO

O sensoriamento remoto, no seu significado mais amplo, vem sendo empregado em trabalhos de pesquisas dentro de praticamente todos os ramos da ciência, dentre os quais a ciência florestal. O presente trabalho consistiu no levantamento bibliográfico sobre a aplicação do sensoriamento remoto no estudo de florestas implantadas no Brasil. Foi observado que as técnicas do sensoriamento remoto vêm sendo largamente utilizadas no estudo de florestas implantadas no Brasil, servindo como importante ferramenta para as atividades de monitoramento dos plantios e para os processos de tomada de decisão das empresas florestais.

Palavras-chave: sensoriamento remoto; floresta implantada; ciência florestal; imagem de satélite.

ABSTRACT

Remote sensing, in its wider meaning, has been used for research in practically in various fields, among these the forest sciences. The objective of this work was to survey the existing bibliography regarding the application of remote sensing in the study of forest implantation in Brazil. We observed that remote sensing techniques have been used in different ways in the forests implanted in Brazil, aiding in studies with different objectives, acquiring good scientific results.

Keywords: remote sensing; implanted forest; science forest; satellite of image.

INTRODUÇÃO

Em 1967, o governo brasileiro iniciou uma política de incentivos fiscais para empreendimentos florestais implantados nas regiões sul e sudeste do país. Esta política acabou por atrair grandes investimentos industriais privados, que necessitavam de suprimentos sustentáveis de matéria-prima, principalmente para o abastecimento das indústrias de celulose e siderurgia a carvão vegetal. Atualmente, a maioria das áreas plantadas contém espécies do gênero eucalipto (principalmente *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*), originárias da Austrália, e espécies do gênero *Pinus*, originárias de países da América Central e do sul dos Estados Unidos (principalmente *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*). A alta capacidade produtiva, a adaptação aos mais diversos ambientes, a grande diversidade de espécies, as características silviculturais desejáveis, como bom rendimento, boa forma, facilidade para programas de manejo e melhoramento, tratos culturais e boa qualidade da madeira para a produção de celulose, foram os principais fatores que levaram à implantação destes reflorestamentos, que hoje ocupam uma área de aproximadamente 5 milhões de hectares no país.

A demanda por produtos de origem florestal aumentou sensivelmente nas últimas décadas, levando a silvicultura a buscar alternativas que pressupõem alta produtividade. Tradicionalmente, o levantamento do potencial de recursos florestais não é efetivo, pois demanda elevado fluxo de informações, as quais são difíceis de alocar, interpretar e armazenar de tal forma que garantam confiável banco de dados. Assim, as técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento podem se apresentar como alternativas e fornecer

1. Engenheiro Florestal, Mestrando em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário, CEP 36570-000, Viçosa (MG). celsoenf01@yahoo.com.br
2. Engenheiro Agrimensor, Doutorando em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário, CEP 36570-000, Viçosa (MG). adelsonmoreira@gmail.com
3. Geógrafa, Mestranda em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário, CEP 36570-000, Viçosa (MG). rafaschimith@gmail.com
4. Engenheiro Florestal, Doutorando em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário, CEP 36570-000, Viçosa (MG). pedro@nepam.org
5. Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário, CEP 36570-000, Viçosa (MG). eshamir@ufv.br

Recebido para publicação em 3/08/2006 e aceito em 25/07/2007.

subsídios para a sistematização de informações advindas de diferentes fontes, tornando possível a integração de dados, o monitoramento de informações e a atualização das mesmas.

Com base no exposto, o presente trabalho teve por objetivo realizar um levantamento bibliográfico sobre as aplicações do sensoriamento remoto no estudo de florestas implantadas no Brasil, fornecendo um panorama geral sobre possibilidades e potencialidades dentro desta área.

FLORESTAS IMPLANTADAS

Na década de 60, iniciou-se, no Brasil, amplo programa de industrialização, dando origem ao crescimento de inúmeras indústrias de base florestal. Como conseqüência, o consumo das reservas nativas do sul e sudeste alcançaram índices alarmantes. Ao mesmo tempo, alguns segmentos que dependiam, exclusivamente, de florestas implantadas tornaram-se incapazes de atender aos interesses do país. Dentre estes setores, destacava-se o setor de celulose e papel, considerado, na época, de importância estratégica para o Brasil, pelas possibilidades de diminuir importações e projetar-se no mercado internacional gerando exportações. Da mesma forma, o crescimento das siderúrgicas a carvão vegetal indicou crescimento significativo de consumo de madeira das florestas nativas da Região dos Cerrados (LEITE, 2006).

O Brasil situa-se entre os 10 maiores países em área de florestas implantadas do mundo. A maior parte da área reflorestada existente no país formou-se nas décadas de 1970 e 1980. Os investimentos no plantio de florestas durante este período contribuíram para a diversificação de material genético e o avanço nas práticas de clonagem; a elevação da produtividade de 15 st/ha para 60 st/ha; a redução dos custos de implantação em mais de 50%; a adoção de práticas silviculturais ambientalmente corretas; a incorporação da variável “impacto social” nos projetos, contribuindo para o desenvolvimento regional; a disseminação da importância do bom manejo florestal; a criação de pequenas e médias empresas especializadas em atividades de silvicultura e de exploração de madeira; o acúmulo de áreas de preservação de florestas nativas (preservação permanente e reserva legal) da ordem de 1,6 milhões de hectares; e um banco genético bastante completo das espécies de eucalipto e pinus existentes no mundo, contando, inclusive, com material já extinto em suas áreas de origem (JUVENAL e MATTOS, 2002).

Leite (2006) destaca a importância da contribuição estratégica e exclusiva das florestas implantadas no suprimento de matéria-prima para as indústrias em geral. São consumidos anualmente cerca de 110 milhões de m³, e projeta-se um consumo de aproximadamente 220 milhões de m³ para o ano de 2020.

SENSORIAMENTO REMOTO

Em princípio, o sensoriamento remoto é definido como sendo a tecnologia que permite aquisição de informações sobre objetos sem manter contato físico com eles. De acordo com Novo (1989), sensoriamento remoto é a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, entre outros, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e análise das interações entre a radiação eletromagnética e as diversas coberturas que compõem a superfície terrestre.

Alguns autores colocam a origem do sensoriamento remoto ligada ao desenvolvimento dos sensores fotográficos. Esta é, por exemplo, a visão da *American Society of Photogrametry*. O *Manual of Remote Sensing* (AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMETRY, 1975) divide a história do sensoriamento remoto em dois períodos principais: o período de 1860 a 1960, no qual o sensoriamento remoto era baseado na utilização de fotografias aéreas, e o período de 1960 até os nossos dias, caracterizado pela multiplicidade de sistemas sensores.

Hoje em dia, assumindo uma série de funções anteriormente atendidas pela aerofotogrametria, o sensoriamento remoto multiespectral apresenta uma série de vantagens, a saber: baixo custo por área específica; aspectos diacrônicos (alta frequência de repetitividade da tomada de imagens) e sincrônicos da captação das imagens; aspecto multiespectral das imagens; caráter digital dos dados adquiridos; e facilidade de integração com bases de dados geocodificados, cartográficos ou numéricos, através de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) (AZEVEDO e MANGABEIRA, 2001).

Atualmente, as imagens digitais são as mais usadas. Para tanto, deve-se observar o tipo de sensor, a localização da cena de cobertura da área, sua qualidade quanto à porcentagem de nuvens, datas disponíveis, época do ano ou aquisição por programação. As imagens podem ser originárias de diferentes satélites, com

características diferentes (Tabela 1).

TABELA 1: Características dos satélites e imagens comumente usadas no setor florestal.

TABLE 1: Characteristics of the satellites and images commonly used in the forest section.

Satélites	Características		Resolução Espacial		Resolução		
	Altitude	Faixa de Imageamento	Pancromática	Multi-espectral	Espectral	Temporal	Radiométrica
CBERS	778 km	113 km	20 m	20 m	4multi e 1pan	26 dias	8 bits
LANDSAT 7	705 km	185 km	15 m	30 m	8multi e 1pan	16 dias	8 bits
SPOT 5	822 km	60 km	2,50- 5 m	10 m	4 multi e 1pan	26 dias	8 bits
ASTER	730 km	60 km	-	15,30 e 90 m	14 multi	-	8,8 e 14 bits
IKONOS2	680 km	13 km	1 m	4 m	4 multi e 1pan	3 dias	11 bits
QUICKBIRD	450 km	16 km	61-72 cm	2,44-2,88 m	4multi e 1pan	1-3,5 dias	11 bits
ORBVUEW 3	470 km	8 km	1 m	4 m	4 multi e 1pan	3 dias	11 bits

Fonte: Engesat (2006).

A resolução espacial ou geométrica refere-se ao campo de visada instantânea (IFOV, do inglês, *Instantaneous Field of View*). No solo, a resolução espacial pode ser definida como sendo a menor área do terreno que um sistema sensor é capaz de individualizar. O valor radiométrico do IFOV é a média de valores das radiâncias dos diferentes objetos que ocorrem dentro da área no terreno, que depende da resolução do sensor. Este valor médio é gravado no píxel da imagem. A referência mais usada para resolução espacial é o tamanho do píxel. Em geral, só objetos maiores do que a área do píxel podem ser identificados, embora isso também dependa da reflectância e contraste entre objetos próximos.

A resolução espectral é a capacidade de discriminação dos materiais da superfície da terra e expressa a capacidade do sensor registrar a radiação em diferentes regiões do espectro. Portanto, quanto maior o número de canais espectrais, maior a capacidade discriminatória. A resolução espectral tem a ver com o número e a finura dos canais espectrais e é definida como a habilidade de separar coisas espectralmente semelhantes.

A resolução radiométrica corresponde à radiação eletromagnética refletida e/ou emitida pelos alvos da superfície terrestre, possui valor de intensidade que difere de um alvo para outro. Estes números representam uma média extraída da quantificação de reflectância recebida de uma porção da superfície terrestre. A distribuição de valores, em meio digital, está associada ao número de dígitos binários (bits) necessários para armazenar o valor máximo de cada píxel. Assim podem ser obtidas imagens com resolução radiométrica de 8 bits, 11 bits, por exemplo. Portanto, uma resolução radiométrica maior possibilitará uma melhor separação de detalhes da superfície. A resolução radiométrica implica diretamente no tamanho dos arquivos da imagem. Uma imagem de 8 bits, pode ter até 256 tons de cinza ($2^8 = 256$).

A resolução temporal refere-se à frequência com que o sensor imageia uma determinada área. É também referida como periodicidade ou repetitividade. A resolução temporal do LANDSAT/TM é de 16 dias, enquanto a resolução temporal do SPOT é de 26 dias.

Uma metodologia usualmente empregada no mapeamento cartográfico de áreas é utilizar o Sistema de Posicionamento Global (GPS). Embora esta técnica atenda aos requisitos geométricos de exatidão, ela pode ser onerosa e, principalmente, pode não conter a riqueza de detalhes e de informações presentes em uma imagem orbital de alta resolução, como por exemplo, uma imagem do satélite Ikonos – 1 metro no modo pancromático e 4 m no modo multiespectral, (Tabela 1). Estas apresentam como inconvenientes o custo elevado e a extensão relativamente pequena das áreas imageadas, contrastando com as extensas áreas

cobertas pelos povoamentos. Isto implica numa relação benefício/custo inadequada para o setor. Como alternativa, pode-se avaliar a utilização de imagens de menor resolução espacial (15 m e 20 m), que podem cobrir grandes extensões do terreno. Mesmo com esta resolução, as imagens ainda conterão informações importantes, não apenas para o mapeamento das áreas, mas também para dar suporte ao planejamento, auxiliando no processo de tomada de decisão. Desta forma, podem-se disponibilizar informações sobre o erro cometido nas determinações de áreas, para que o tomador de decisão verifique se estes estão dentro de limites aceitáveis para o seu propósito (SOARES *et al.*, 2005).

APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO EM FLORESTAS IMPLANTADAS

De acordo com Moreira (1984), devido ao dinamismo das atividades florestais e pela importância desse setor na vida nacional, surge a necessidade de se conhecerem e avaliarem, cada vez mais e com maior frequência, os empreendimentos florestais, de forma rápida e segura, como passo prévio para seu manejo e exploração eficientes.

Segundo Rosot *et al.* (2004), a dinâmica dos reflorestamentos exige atualizações constantes do cadastro e, conseqüentemente, dos mapas florestais. Planejamento de reforma de talhões, determinação de áreas submetidas a corte raso, avaliação de danos de incêndios florestais, obtenção de informações em processos de compra e venda de áreas, definição de áreas de reserva legal e de preservação permanente são algumas das operações que demandam atualização de áreas.

Em planejamento florestal, é comum que a base de informações seja oriunda de dados remotos, obtidos por imagens de satélites, fotografias aéreas e imagens de radar. Moreira (1984) relata que os satélites da série Landsat aparecem em destaque, quando se objetiva o monitoramento dos recursos florestais no Brasil, uma vez que eles fornecem dados com características multiespectrais e repetitividade a cada dezesseis dias a um custo irrisório quando comparados aos métodos alternativos. Essas características viabilizam o uso de dados do Landsat, principalmente em estudos regionais, envolvendo grandes áreas.

As imagens obtidas por sensores a bordo de satélites orbitais têm demonstrado um grande potencial para monitorar ou detectar mudanças na cobertura florestal sobre grandes áreas geográficas. Vários algoritmos de detecção de mudanças têm sido desenvolvidos, sendo que a técnica da razão de bandas tem se destacado devido à sua simplicidade de implementação e eficiência (MUCHONEY e HAACK, 1994). Vogelmann e Rock (1986), estudando danos causados em florestas de *Pinus* sp. nas montanhas de Vermont, USA, encontraram que a razão de bandas permitiu quantificar os níveis deste danos. Soares *et al.* (1998) utilizaram seis bandas do sensor TM/Landsat-5, obtidas em 1989 e 1992, para avaliar mudanças em plantações de eucaliptos e outras coberturas terrestres localizadas no Vale do Rio Doce, Estado de Minas Gerais. A técnica da razão entre bandas foi usada neste estudo, e os resultados, avaliados qualitativa e quantitativamente, indicaram que todas as seis imagens transformadas pela razão entre bandas foram efetivas na avaliação de mudanças das coberturas terrestres presentes na área de estudo. Os mesmos autores acreditam que as empresas florestais poderão lançar mão desta ferramenta para monitorar, por exemplo, áreas desfolhadas por ataque de pragas e doenças, devido à mudança no comportamento espectral das áreas atacadas em relação às áreas saudáveis. Pesquisas deverão ser conduzidas no sentido de verificar a viabilidade do uso de técnicas de detecção de mudanças na identificação de áreas afetadas por incêndios, ataque de pragas e doenças, etc., dando subsídios à empresa para um melhor planejamento na recuperação destas áreas afetadas.

Nas empresas do setor florestal, uma atividade que exige o monitoramento contínuo é o inventário de suas áreas plantadas, haja vista o seu caráter dinâmico, caracterizado pela variabilidade de estágios de desenvolvimento e de espécies de cada talhão, áreas afetadas por incêndios, pragas, controle de corte e plantio, entre outros fatores. Estas características, inerentes aos plantios de *Eucalyptus*, inviabilizam o gerenciamento de suas atividades apenas com um banco de dados descritivo, sendo de suma importância o componente espacial da informação, que, juntos, compõem um Sistema de Informações Geográficas (SOARES *et al.*, 2005). Este permitirá processar informações espaciais, devendo ser capaz de criar abstrações digitais do real, manejar e armazenar eficientemente dados, de forma a identificar o melhor relacionamento entre as variáveis espaciais, possibilitando a criação de relatórios e mapas que contribuem para a compreensão holística desses relacionamentos (RIBEIRO *et al.*, 2000). Os resultados decorrentes dos processos de tomada de decisão irão depender, em grande parte, da confiabilidade e adequabilidade desta

base de dados, sendo que, segundo Ribeiro *et al.* (2000), de uma maneira geral, 75% do orçamento e do tempo de um projeto nessa área são consumidos na fase de sua elaboração.

Para o gerenciamento, planejamento e desenvolvimento do setor florestal, é necessária a utilização de dados espaciais no levantamento de informações importantes e rápidas sobre o uso das terras. Segundo Sano *et al.* (1998), a disponibilidade de informações confiáveis sobre os tipos de culturas instaladas, áreas plantadas e distribuição espacial dentro de uma determinada região são fundamentais na tomada de decisão para o planejamento, definição de propriedades e liberação de financiamento pelos setores públicos e privados envolvidos. Segundo estes autores, tais informações podem ser obtidas por métodos convencionais de aplicação demorada e onerosa, e, em função da subjetividade decorrente da avaliação, podem levar a erros estatísticos que freqüentemente induzem os usuários dessas informações a questioná-las.

A realização de mapeamentos utilizando técnicas de sensoriamento remoto em áreas florestais começou no Brasil com a utilização de fotografias aéreas de áreas florestais de difícil acesso, primeiramente utilizando-se da foteointerpretação e da fotogrametria, tornando-se uma ferramenta imprescindível para a ciência florestal.

Diferentes tecnologias de sensoriamento remoto têm sido utilizadas para o mapeamento, atualização de inventários florestais e avaliação de danos florestais, por meio de fotografias aéreas e imagens digitais. A rápida evolução tecnológica de sensores remotos vem proporcionando a obtenção de dados digitais com uma resolução e agilidade espacial cada vez maior.

Soares *et al.* (2005) mapearam e quantificaram áreas ocupadas por plantações de *Eucalyptus*, através de imagens dos satélites Landsat-7 ETM+. A metodologia utilizada (digitalização em mesa e em tela) não apresentou a exatidão requerida, uma vez que se constatou forte tendência à superestimação da área dos talhões; contudo, os autores afirmam que levantamentos expeditos ou de reconhecimento podem ser realizados com qualquer uma das metodologias.

Bolfe *et al.* (2003) levantaram os povoamentos florestais a partir de técnicas de classificação digital supervisionada, pelo método de máxima verossimilhança, no qual o algoritmo de classificação consiste num princípio estatístico paramétrico, considerando as classes envolvidas numa função densidade de probabilidade gaussiana. Tais classes temáticas foram estabelecidas em função dos temas de interesse: florestas implantadas de *Pinus* sp., *Eucalyptus* sp. e florestas nativas (florestas primárias, florestas secundárias, matas de galeria e capoeiras).

Em Ducati *et al.* (1999), foi mostrado como as espécies de árvores *Araucaria angustifolia*, *Eucalyptus* sp. e *Pinus elliottii* apresentam reflectâncias diferentes, nas bandas Landsat. Para tanto, foi usada a sensibilidade diferencial do sensor que opera o Thematic Mapper a bordo do satélite Landsat-5, com respeito às reflectâncias de várias espécies vegetais que compõem as cenas imageadas. A partir disto, foi possível separar estas espécies e quantificar as áreas ocupadas por cada uma.

Soares *et al.* (2001) mostraram que técnicas de sensoriamento remoto orbital podem ser usadas para estimar o Índice de Área Foliar (IAF) em escala regional com razoável precisão. O IAF está diretamente relacionado com a produtividade e a evapotranspiração de ecossistemas florestais (LANG e McMURTRIE, 1992, *apud* SOARES *et al.*, 2001). Para estimar a produtividade e a evapotranspiração, pesquisadores têm desenvolvido modelos de interface floresta-solo-atmosfera (RUNNING e COUGHLAN, 1988, *apud* SOARES *et al.*, 2001), nos quais o IAF é a principal variável descritora do dossel vegetal. Soares *et al.* (1997) e Soares e Almeida (2001), *apud* Soares *et al.* (2001), adaptaram o método de Penman- Monteith para estimar a transpiração e o balanço hídrico para plantações de eucalipto, em que o IAF é utilizado para estimar a condutância do dossel, parâmetro-chave no modelo, a partir de valores amostrados para folhas individuais. Segundo estes autores, a evapotranspiração do dossel, quando integrada em um dado período de tempo, pode ser utilizada para expressar o potencial de produtividade da cultura em determinado local e período. Xavier *et al.* (2002), *apud* Soares *et al.* (2001), avaliaram como o índice de área foliar varia ao longo do ciclo de crescimento de plantações de eucalipto, em cinco clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. A estimativa do IAF, no campo, foi realizada por sensores denominados LAI-2000.

Santiago (1988) aplicou uma metodologia de sensoriamento remoto na caracterização espectral da seca de ponteiros do eucalipto do Vale do Rio Doce, no Estado de Minas Gerais. Nesse trabalho, dados

espectro-radiométricos, fotografias aéreas 35mm colorido normal e infravermelho colorido e dados orbitais TM/LANDSAT foram utilizados para tal caracterização. Diferenças espectrais significantes entre as amostras afetadas e não-afetadas foram verificadas através desta análise espectro-radiométrica. Segundo o mesmo autor, a metodologia foi eficiente na identificação da seca de ponteiros em áreas planas; porém, a aplicação desta metodologia em áreas de relevo acidentado não obteve resultados satisfatórios.

Ponzoni (1996) utilizou o sensoriamento remoto com o objetivo de avaliar a viabilidade do uso de dados TM/Landsat na identificação dos efeitos causados pelo ataque da vespa-da-madeira (*Sirex noctilio* Fabricius) em plantios de *Pinus*. Segundo ele, a ocorrência de pragas em florestas implantadas é um evento que requer rapidez na identificação de métodos que proporcionem a contenção de seu desenvolvimento. É importante, neste contexto, o acompanhamento da progressão do ataque do agente causal em termos geográficos, bem como o monitoramento das áreas sabidamente atacadas. Assim, as técnicas de sensoriamento remoto podem apresentar algum potencial, apesar de a literatura que envolve o uso destas técnicas para estudos relacionados à fitossanidade apontar limitações ao uso de dados orbitais na identificação dos primeiros estágios do ataque, devido às inadequadas resoluções espaciais, espectrais e temporais. O autor cita que, no Brasil, são escassos os exemplos de aplicação do sensoriamento remoto orbital na identificação e no monitoramento de pragas e doenças florestais, restringindo-se a situações nas quais os plantios já teriam sido parcial ou completamente destruídos.

Na maioria destes trabalhos, foram apontadas algumas limitações das fotografias aéreas, no que se refere à sensibilidade espectral dos filmes fotográficos disponíveis, que nem sempre atendem às necessidades específicas de um determinado estudo. Estas limitações poderiam ser contornadas pelo uso das imagens orbitais dos sensores imageadores supra mencionados, que permitem a obtenção de dados em diferentes regiões espectrais. As resoluções espacial, espectral e radiométricas destas imagens também têm apresentado limitações para estes estudos.

O sensoriamento remoto também vem sendo utilizado no monitoramento nutricional de plantios de eucalipto. Ponzoni e Gonçalves (1997) utilizaram imagens TM LANDSAT para detectar deficiências nutricionais de potássio em plantios jovens de eucalipto.

Neto (2002) observou que a preocupação com os aspectos nutricionais dos plantios de eucalipto vem crescendo, devido às respostas obtidas quando são realizadas as fertilizações adequadas para determinado povoamento. Visando detectar estas áreas com deficiências ou exigências nutricionais distintas, o autor verificou a utilidade da técnica videográfica no levantamento de deficiências nutricionais em plantações de eucalipto, para sua utilização como instrumento no monitoramento nutricional, que seria menos dispendioso que os métodos convencionais.

A videografia aérea é uma técnica que vem sendo utilizada desde a década de 1980, com o objetivo de monitorar a situação de áreas agrícolas, identificando infestações de ervas daninhas, diferenciando culturas adubadas de não-adubadas, áreas queimadas e infestações de formigas (EVERITT e NIXON, 1985). A flexibilidade operacional e o baixo custo da videografia aérea, entre outros fatores, têm chamado a atenção para esta técnica.

De acordo com Mausel *et al.* (1993), a videografia aérea é um ramo do sensoriamento remoto com muitas características, as quais permitem que seja usada em várias aplicações. Entre as vantagens que apresenta sobre outros produtos mais tradicionais, como imagens orbitais e fotografias aéreas, podem ser citadas: (a) baixo custo, (b) disponibilidade de imagens em tempo real ou quase real, para a análise visual e/ou processamento digital; (c) capacidade de coleta de dados espectrais em bandas estreitas, do visível ao infravermelho médio; e (d) redundância de dados, uma vez que várias imagens por segundo podem ser adquiridas, produzindo visadas de um mesmo alvo ou cena.

Uma das maiores desvantagens das imagens de vídeo, a baixa resolução espacial, atualmente vem sendo superada nas modernas câmaras digitais. Um e Wrigth (1999) comentam que avanços recentes na tecnologia de vídeo e no poder dos computadores têm levado à superação das conhecidas limitações da videografia, direcionando a uma reavaliação do potencial da videografia aérea como uma técnica operacional do sensoriamento remoto digital.

Importantes variáveis no trabalho de Law (1995), como índice de área foliar (IAF) e luz interceptada

pela vegetação (arbustiva e arbórea), também já foram estimadas a partir de imagens videográficas.

O sistema videográfico consiste na utilização de uma ou mais câmeras de vídeo, acopladas ao piso de uma aeronave, de forma a obter imagens verticais, isto é, paralelas ao solo. As imagens de vídeo podem ainda gerar dados digitais e índices de vegetação para estimar a altura do dossel de plantas, área foliar e produtividade (RICHARDSON *et al.*, 1990).

Neto (2002) concluiu, em seu trabalho, que a videografia é uma ferramenta potencial para avaliações quantitativas e qualitativas de plantios de eucalipto, devido à sua praticidade e baixo custo, além de proporcionar a avaliação imediata para tomada de decisões e a possibilidade de elaboração de mapas temáticos. O autor afirmou ainda que as deficiências nutricionais foram detectadas de maneira indireta, uma vez que afetaram significativamente o crescimento das plantas.

Dentro de outra concepção, Catelani e Batista (2006) afirmam que as lacunas técnicas presentes nas acirradas discussões entre representantes da indústria de papel e celulose, a sociedade civil, organizações não-governamentais e os órgãos fiscalizadores da legislação ambiental brasileira acerca da perda direta da disponibilidade hídrica, em consequência da implantação de maciços florestais de eucalipto em uma área situada na região sudeste do Brasil, denominada Vale do Paraíba, no Estado de São Paulo, em especial os dados sobre a evaporação e a evapotranspiração potencial, determinam a necessidade de respostas científicas sobre os fatores associados a esse tipo de monocultura, que podem influenciar ou colocar em risco a preservação dos recursos hídricos dessa região. De acordo com os mesmos autores, o uso do sensoriamento remoto e, em especial, o tratamento das imagens que registram a radiação emitida na faixa do infravermelho termal pode contribuir significativamente para a elucidação dessas questões sobre diferentes tipos de cobertura da terra.

Nesse contexto, estes autores desenvolveram um trabalho cujo objetivo foi verificar, com base em imagens termais do sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), as diferenças nos níveis de emissão de radiação termal de quatro classes distintas de cobertura da terra: floresta nativa, floresta de eucalipto, pastagem e área urbana, com vistas a inferir sobre a quantificação da evapotranspiração dessas classes. A análise dos dados demonstrou que a emissão de radiação termal observada no eucalipto foi menor do que a emissão da mata nativa, e, em consequência, a evapotranspiração da mata nativa deve ter sido maior do que a do eucalipto. Os autores concluíram que a crença popular de que o eucalipto “seca” o solo deve ser melhor investigada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização das técnicas de sensoriamento remoto no setor florestal brasileiro contribui para reforçar e dar maiores subsídios às possíveis ações ligadas à quantificação de recursos e adversidades e ao monitoramento de áreas com potencialidades ao reflorestamento, auxiliando na tomada de decisões, com bases científicas confiáveis.

Grandes empresas têm feito uso intensivo do sensoriamento remoto, sempre focando a geração de informações, buscando uma gestão completa e otimizada dos plantios. Com o crescimento do setor florestal brasileiro, a preocupação em dispor de técnicas mais econômicas e sustentáveis, buscando a integração dos dados com o SIG, torna cada vez mais viável o uso do sensoriamento remoto. Há uma necessidade de capacitação constante dos técnicos, almejando a qualidade tecnológica da empresa, com isso buscando a sustentabilidade econômica, ambiental e social. Os sistemas de dados e informações gerenciais precisam ser constantemente atualizados, visando garantir alto desempenho no apoio aos processos de tomada de decisão e gestão de suas operações florestais.

É conveniente ressaltar que, mesmo com o advento tecnológico do sensoriamento remoto e com o lançamento de novos satélites, equipados com sensores cada vez mais sofisticados e permitindo alcançar um grau de precisão maior nos levantamentos, este processo não poderá e nem deverá substituir por completo os métodos tradicionais de levantamento presente na maioria dos trabalhos, principalmente no tocante à checagem de campo. O mais sensato seria utilizá-los em conjunto, atentando-se para os níveis de precisão aceitáveis para cada avaliação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMETRY. Water Resources Assesment. In: **Manual of Remote Sensing**. Falls Church: 1975. p.1479-1522.
- AZEVEDO, E.C.; MANGABEIRA, J.A.C. **Mapeamento de uso das terras utilizando processamento digital de imagem de Sensoriamento Remoto**. Campinas, SP: MAPA, 2001. 12p. (Comunicado Técnico, ISSN 1415-2118).
- BOLFE, E. L.; FONSECA, E. L.; PEREIRA, R. S. *et al.* Verificação da exatidão em classificação digital de povoamentos florestais em imagem orbital mediante três índices. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p.2671-2677.
- CATELANI, C. S.; BATISTA, G. T. Comparação dos níveis de emissão de radiação na faixa do infravermelho termal entre maciços florestais de eucalipto e de mata nativa utilizando dados do infravermelho termal. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL EN PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, 12., 2006, Cartagena de Índias. **Resumos...** Cartagena de Índias, Colômbia: UNITAU, 2006.
- DUCATI, *et al.* **Inventário Florestal do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CEP SRM/UFRGS, 1999. (Série Relatórios Técnicos, 4/1999).
- ENGESAT- Imagens de Satélites. Disponível em: <http://www.engesat.com.br>. Acesso em: 23 de junho de 2006.
- EVERITT, J. H.; NIXON, P. R. Video imagery: a new remote sensing tool for range management. **Journal of Range Management**, v.38, p.421-424, 1985.
- JUVENAL, T.L.; MATTOS, R.L.G. O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. **BNDES/Ministério de Ciência e Tecnologia - Setorial**, Rio de Janeiro, n. 16, p. 3-30, 2002.
- LAW, B.E. Estimation of leaf area index and light intercepted by shrubs from digital videography. **Remote Sensing Environment**, v.51, n.2, p. 276-280, 1995.
- LEITE, N.B. As florestas plantadas: governo e empresas na direção do desenvolvimento sustentável. Disponível em: <http://www.sbs.org.br/secure/palestra>. Acesso em: 23 de junho de 2006.
- MAUSEL, P.W. *et al.* Delineation of soil series subareas using multiespectral video in relation to rural tax assessment. In: BIENNIAL WORKSHOP ON COLOR AERIAL PHOTOGRAPHY AND VIDEOGRAPHY FOR RESOURCE MONITORING, 14., 1993, Logan. **Anais...** Logan: ASPRS, 1993. p.82-95.
- MOREIRA, M. **Identificação de reflorestamentos por meio da análise quantitativa de imagens orbitais Landsat**. 1984. 65 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1984.
- MUCHONEY, D. M.; HAACK, B. N. Change detection for monitoring forest defoliation. **International Journal of Remote Sensing**, London, v.60, n.10, p.1243-51, 1994.
- NETO, P.P. **Utilização da videografia aérea na detecção de áreas com deficiências nutricionais em plantios de eucalipto**. 2002. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2002.
- NOVO; E.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgar Blucher, 1989. p.1-8.
- PONZONI, F.J. Dados TM/Landsat na identificação do ataque da Vespa-da-madeira, em plantios de *Pinus* sp. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: INPE, 1996. p.965-968.
- PONZONI, F. J.; GONÇALVES, J. L. M. Avaliação do uso de dados TM/Landsat na identificação de plantios de *Eucalyptus* spp. deficientes em potássio. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.21, n.3, p.421-431, 1997.
- RIBEIRO, C. A. A. S. *et al.* Sistemas de Informações Geográficas. In: BOREM, A. *et al.* (Ed.). **Agricultura de precisão**. Viçosa, MG: 2000. 467 p.: il. p-380-407.
- RICHARDSON, A.J.; HEILMAN, M.D.; ESUOBAR, D.E. Estimating grain sorghum yield from video and reflectance based PVI measurements at peak canopy development. **Journal of Imaging Teachnology**, v.16, n.3. p.104-109. 1990.
- ROSOT, N. C. *et al.*, Uso de imagens de radar para a utilização de mapas florestais temáticos. In: DISPERATI, A. A.; SANTOS, J. R. (Ed.). **Aplicações de geotecnologias na Engenharia Florestal**. Curitiba, PR: Copiadora Gabardo, 2004. p. 277-278.
- SANO, E.E.; ASSAD, E.D.; ORIOLI, A. L. Monitoramento da ocupação agrícola. In: ASSAD, E. D., E.E. (Ed.) **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília: Embrapa-SPI, 1998. p179-190.
- SANTIAGO, R. H. S. **Caracterização espectral e identificação de áreas afetadas pela seca de ponteiros do**

- eucalipto do Vale do Rio Doce (SPEVRD) com ênfase em dados orbitais TM/LANDSAT.** 1988. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP. 1988.
- SOARES, V. P.; BRITES, R. S.; RIBEIRO, C. A. Á. S. Avaliação da mudança da cobertura em áreas reflorestadas usando razão de bandas de imagens de satélite. **Cerne**, v.4, n.1, p.22-34, 1998.
- SOARES, V. P.; GUIMARÃES, W. D.; RIBEIRO, C. A. Á. S. *et al.* Uso de imagens Landsat-7 Etm+ para o mapeamento de plantações de *Eucalyptus* na Região Norte de Minas Gerais. **Floresta**, Curitiba, v.35, n.1, p.137-149, jan./abr. 2005.
- SOARES, J. V.; XAVIER, A. C.; ALMEIDA, A. C. Balanço de água em Eucaliptos com a caracterização do dossel por técnicas de Sensoriamento Remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR: INPE, 2001. p. 139-147.
- UM, J.S.; WRIGTH, R. The analog to digital transition and implications for operational use of airborne videography. **Photogrammetric Engineering e Remote Sensing**. v.65, n.3, p. 269-275, 1999.
- VOGELMANN, J. E.; ROCK, B. N. Assessing forest decline in Coniferous forests of vermont using NS-001 Thematic Mapper simulator data. **International Journal of Remote Sensing**, London, v.17, p.1303-1321, 1986.