

Monitoramento global e regional da cobertura vegetal: uma abordagem dos atuais sistemas de observação da Terra

Veraldo Liesenberg¹

Bolsista DTI-7F/CNPq

Divisão de Sensoriamento Remoto

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

(Recebido: 10 de agosto de 2004)

Resumo: A partir da década de 80, estudos pioneiros para mapear e monitorar a cobertura vegetal em termos regionais e globais, usando dados adquiridos pelo AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), iniciaram um novo paradigma no sensoriamento remoto, derivando dados, até então, destinados para estudos locais para dados regionais e globais. A partir do final da década de 80, com a crescente necessidade de se monitorar a cobertura vegetal, novos sensores a bordo de novos satélites estão adquirindo dados com maior qualidade no que se refere aos domínios temporal, espacial, espectral, radiométrico e angular. Este artigo destaca algumas destas realizações a partir da década de 80, indicando alguns desafios para o estudo do sensoriamento remoto, além de relacionar os principais sistemas atuais de observação da Terra.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Caracterização da vegetação, Cobertura vegetal, Sistemas de Observação da Terra

Abstract: Since 80 decade, pioneer studies to map and monitor vegetation cover in regional and global terms, using data acquired by AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), began a new paradigm in the remote sensing, deriving data which were used for local studies to global and regional data. From the end of 80 decade, with the increasing need for vegetation cover monitoring, new sensors on board of new satellites have been acquiring data with higher quality, referring to temporal, spatial, spectral, radiometric and angular domains. This article enhances some of these accomplishments, indicating some challenges for the study of remote sensing, besides of relating the main current Earth observing systems.

Key words: Remote Sensing, Vegetation characterization, Vegetation cover, Earth Observing Systems

¹E-mail: vlberg@ltid.inpe.br

1 Introdução

Mudanças na paisagem da superfície terrestre, por causas e efeitos naturais, já são ocorrentes no nosso planeta durante o período de 4,5 bilhões de anos. A órbita mecânica da Terra, as forças geológicas, os processos biológicos e os sistemas interrelacionados dirigiram uma dinâmica não-linear de mudanças de energia, massa e cinética que têm mantido perpetuamente o seu clima em um estado de fluxo. Estas variações climáticas sejam naturais ou antrópicas, são, portanto, merecedoras de estudos científicos detalhados, já que atualmente compreende-se e preve-se melhor estes fenômenos (Vitousek *et al.*, 1997).

Há um aumento de evidências científicas de que nos últimos 100 anos as atividades humanas têm atingido a magnitude de uma força geológica e têm iniciado impactos climáticos em uma escala global. Que em uma relativamente curta amplitude de tempo, o ser humano transformou cerca de 40% da superfície terrestre, mudando a sua reflectância e modificando o ciclo hidrológico. A concentração do dióxido de carbono na atmosfera tem aumentado em 30% desde o início da revolução industrial e continua aumentando sem precedentes (Vitousek *et al.*, 1997), perturbando assim modelos climáticos e afetando as atividades fotossintéticas das plantas em nível global (Myneni *et al.* 1997). Estes recentes incrementos são devidos a causas naturais, atividades humanas ou uma combinação de ambos?

O ser humano aumentou e introduziu novos elementos químicos na atmosfera, como por exemplo, os diferentes gases causadores do efeito estufa. É possível que a tendência do fluxo de aquecimento e as correspondentes mudanças no clima sejam contínuas e aceleradas, dada a atual projeção das atividades antrópicas humanas. A ameaça das mudanças climáticas traz não somente o aumento da temperatura, mas também a possibilidade de causar anomalias climáticas, como estiagens em alguns lugares e secas em outros (Vitousek *et al.*, 1997).

A ameaça antrópica nas mudanças climáticas, apesar ainda das incertezas científicas, levaram alguns países desenvolvidos a assegurarem a Conferência de Mudanças Climáticas em Kyoto, no Japão, em dezembro de 1997. Esta conferência mostrou que os esforços para controlar os impactos humanos em clima são controversos, com relação ao potencial de repercussão social, econômica e política. Alguns progressos também são necessários abordar, como as que seguem. Qual é a contribuição humana para o atual aquecimento? Quais são os fatores primários geofísicos neste aquecimento? Seria a ascensão dos níveis dos gases do efeito estufa a causadora do aumento da temperatura média com uma taxa elevada? Em casos positivos, quais seriam os efeitos regionais e temporais do aumento da temperatura nos modelos de precipitação, no nível dos oceanos, na saúde humana, na produção de alimentos, na qualidade das águas superficiais, na produtividade biológica terrestre e de oceanos e nos modelos climáticos?

Para responder a estas questões, a comunidade científica precisa dar suporte a um amplo programa de observação da Terra, através de estações terrestres e de plataformas orbitais de sensoriamento remoto. O sensoriamento remoto por satélites orbitais é o único caminho praticável para obter um contínuo campo de dados es-

paciais e temporais necessários para a detecção de mudanças e a modelagem em termos locais, regionais e globais. Aproximadamente 30 anos de dados de satélite, agora disponíveis, confirmam a direção da observação da superfície terrestre, e têm provido uma visão única da interação entre o clima e a biosfera. Embora os cientistas tenham aprendido muito com as fontes de dados gerados pelos sensores a bordo dos satélites, este conhecimento, ainda, não respondeu a uma série de questões. Atualmente, novos sensores estão substituindo seus antecessores nos estudos para as quais foram aplicados, visando atender a estas questões. Como exemplo, cita-se o AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), que está sendo substituído por sensores mais sofisticados como o MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), que possui várias inovações tecnológicas.

Instituições como a NASA (National Aeronautics and Space Administration), juntamente com outras de cunho científico atuantes em outros países, inclusive o Brasil, criaram um empreendimento científico, o ESE (Earth Science Enterprise). O objetivo geral deste empreendimento é aumentar o conhecimento acerca de todos os sistemas naturais e das suas interrelações, como as medidas objetivas identificadas no Painel de Pesquisas de Mudanças Globais que necessitam a redução de incertezas na predição de clima identificada pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC).

O empreendimento ESE compreende quatro partes: uma série de sensores - EOS (Earth Observing System); outra de sensores de menores dimensões - ESSP (Earth System Science Pathfinder); um programa interdisciplinar e interinstitucional de pesquisa e de intercâmbio científico; e, por fim, um sistema de armazenamento, de processamento e de distribuição dos dados científicos - EOSDIS (EOS Data and Information System) (Chase, 1989; Dutton, 1989).

O Sistema de Observação da Terra (EOS) tem por objetivo prover dados pelo menos durante aproximadamente 20 anos, que permitirão distinguir entre anomalias térmicas curtas, as oscilações climáticas interanuais e interdecadais e mudanças das atividades antrópicas. Para encontrar o objetivo das medidas, os dados EOS serão coletados sobre um amplo intervalo do espectro eletromagnético, com diferentes resoluções espaciais e com uma variedade de estratégias de observação, além da disponibilidade de produtos gerados a partir destes dados para a comunidade científica internacional.

Com estes dados, o EOS pretende estudar as formações vegetais em uma escala global, buscando um maior entendimento das suas interrelações nos ciclos biogeoquímicos e climáticos e o seu funcionamento no globo terrestre como um sistema único e integrado. Para que isso seja possível, faz-se necessário o conhecimento da distribuição espacial dos biomas e dos diferentes ecossistemas que o compõem (Kaufman *et al.* 1998).

O objetivo deste trabalho é descrever a importância do monitoramento da superfície terrestre, em especial, para as formações florestais, além de relacionar os principais sistemas sensores de observação da Terra disponíveis para a comunidade científica.

2 Aplicações dos sistemas de observação da Terra

2.1 Papel do sensoriamento remoto

A aplicação das técnicas de sensoriamento remoto orbital no estudo dos recursos naturais teve início na década de 70. Ela foi inicialmente impulsionada pela disponibilidade de dados dos sensores colocados a bordo dos satélites da série Landsat, com o primeiro satélite lançado em 1972. Outro importante instrumento do sensoriamento remoto orbital é o AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Este sensor segue a bordo dos satélites da série NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), com o primeiro satélite lançado em 1981.

Os sensores supracitados possuem características específicas que asseguram aos dados gerados por ambos sensores, aplicações específicas, para as quais foram originalmente concebidos. Estas características quanto às suas diferentes resoluções, tanto temporal quanto espacial, fazem com que estes instrumentos sejam comumente empregados em atividades que envolvam estudos da classificação dos alvos presentes na superfície terrestre. Inicialmente, estas abordagens referentes à classificação incluíam estudos qualitativos. Estes, evidentemente voltados para a identificação e a posterior representação cartográfica dos diferentes alvos da superfície.

Verificou-se, então, uma crescente preocupação com os domínios espacial, espectral, radiométrico, como também com o aprimoramento de técnicas de classificação digital e o desenvolvimento de aplicativos de edição visual das imagens geradas. No final dos anos 80, procurou-se explorar os dados coletados remotamente em estimativas quantitativas de parâmetros biofísicos e geofísicos dos recursos naturais. Isso, de certa forma, levou os profissionais, que já vinham aplicando as técnicas de sensoriamento remoto orbital no estudo desses recursos, a compreenderem melhor os detalhes técnicos inerentes ao funcionamento dos sensores, bem como os conceitos físicos intrínsecos aos processos de coleta e de registro dos dados radiométricos. Mais recentemente, esta necessidade, também, incluiu a estimativa de diferentes elementos químicos na geosfera e na biosfera.

A derivação dos produtos de sensoriamento orbital regional para o global também transforma-se de uma possibilidade para uma realidade neste período. Durante a década de 90, uma série de fatores tornou possível a melhora dos dados regionais e globais da superfície terrestre, inicialmente a partir dos dados adquiridos pelo sensor AVHRR e em seguida por outros sensores, abordados nos tópicos seguintes.

2.2 Importância do monitoramento das formações vegetais

O crescente avanço das tecnologias da meteorologia, principalmente as relacionadas aos estudos dos modelos de circulação da atmosfera-biosfera, tem mostrado que mapas atualizados de vegetação são uma peça fundamental nos ciclos globais biogeoquímicos (Vitousek *et al.*, 1997). Esta constatação foi a principal impulsionadora da caracterização global das formações vegetais. Em seguida, outras aplicações começam a aparecer, exigindo também informações sobre as atuais condições das formações vegetais.

Um acompanhamento das formações vegetais estão incluídas em diversos acordos internacionais, como por exemplo, o Protocolo de Kyoto (IGBP, 1998). Segundo os autores Rosenqvist *et al.* (1999 e 2003), este protocolo traz ao sensoriamento remoto uma série de oportunidades de atuação nos seus diferentes artigos. Ele prevê a estimativa do estoque de carbono resultante das atividades antrópicas nas mudanças dos padrões de uso do solo e das atividades florestais (Artigo 3). O monitoramento de atividades debaixo de mecanismos de desenvolvimento limpo (Artigo 12). O monitoramento dos sumidouros de carbono, resultantes das diferentes ações que podem ser feitas com a cobertura vegetal, ou seja, florestamento, reflorestamento e desflorestamento (Artigos 6 e 17). Observações sistemáticas e o desenvolvimento de arquivos de dados para reduzir as incertezas relatadas para o sistema climático também são necessários (Artigo 10). As implicações legais e econômicas de como contabilizar reservas de carbono em confiança e acurácia, com as quais, informações de uso da terra são providas, clamam por trabalhos dentro de um contexto operacional, que podem ser providos por dados temporais da superfície terrestre fornecidos por sensores remotos em nível orbital.

Uma outra importante contribuição que pode ser obtida, por meio de dados de sensores remotos, é a identificação e o monitoramento de mudanças que ocorrem com as formações vegetais. Anterior ao lançamento dos satélites EOS e de outros sensores, como os apresentados na Tabela 1, dados temporais com uma resolução espacial mais acurada demandavam longos períodos de dados obtidos pelos sensores. Somente séries globais com dados de 8km do sensor AVHRR, até então, eram disponíveis para acompanhar as alterações das formações vegetais na superfície terrestre. Esta resolução espacial, entretanto, não permitia a identificação e o monitoramento adequado das ações antrópicas e/ou naturais que ocorriam na superfície. A escolha da resolução espacial mais adequada para a condução de diferentes estudos de identificação e monitoramento da superfície terrestre em níveis local e regional, tem sido investigada por vários pesquisadores (Townshend *et al.*, 1991).

A resolução espacial necessária para o monitoramento de transformações na paisagem em ampla escala, a partir da concepção de novos sensores, foi discutida por Townshend e Justice (1988). Neste estudo utilizou-se imagens que variavam em resolução espacial de 125 a 4000 metros, derivadas de dados do MSS (Multispectral Scanner) a bordo dos primeiros satélites da série Landsat. Os resultados mostraram que há uma melhora substancial no monitoramento de transformações da paisagem em todas as áreas de estudo selecionadas, utilizando-se 500 metros no lugar de 1000 metros. Em geral, os resultados mostraram que quanto melhor a resolução espacial, melhor também a representação das transformações na paisagem, particularmente para áreas com pequenas unidades de transformação.

Teillet *et al.* (1997) analisaram, dentre outros aspectos, a influência da resolução espacial no cálculo de índices de vegetação em regiões de floresta, a partir de dados do sensor aerotransportado AVIRIS (Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer), com resolução espacial de 20 metros, que foi posteriormente degradada e reamostrada para 60, 100, 260, 500 e 1100 metros. De acordo com estes autores, a variação da resolução espacial de 20 para 1100 metros teve um efeito mínimo sobre o cálculo

do índice de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), e as curvas espectrais para os seis diferentes valores de resolução espacial ficaram praticamente sobrepostas. As pequenas mudanças que ocorreram foram mais perceptíveis na mudança de 260 para 500 metros.

Constatações desta natureza e com as atuais capacidades tecnológicas, motivaram o lançamento de satélites com sensores que atualmente estão adquirindo dados diários nas resoluções de 250, 500 e 1000 metros. Estas resoluções possibilitaram uma inovação na detecção de mudanças na superfície terrestre (Zhan *et al.*, 2002). Com a disponibilidade, quase que diária de dados, auxilia-se o esforço do fornecimento de produtos de sensoriamento remoto com uma adequada qualidade radiométrica, o que permite ao intérprete obter, uma maior probabilidade, informações sobre a superfície terrestre, isentas de aerossóis e de nuvens, como em determinadas regiões tropicais. Para as áreas problemáticas em relação à cobertura de nuvens, recentes avanços no sensoriamento remoto por microondas (radar) permitem atualmente a obtenção de informações sobre a superfície em períodos relativamente curtos, mesmo com a presença de aerossóis e de nuvens.

A melhoria da resolução temporal permite agora entender alguns fenômenos sazonais das formações vegetais, além de aumentar a probabilidade da disponibilidade de imagens ausentes de nuvens. Alguns produtos já têm sido desenvolvidos para garantir imagens através do reagrupamento de pixels, como por exemplo para períodos semanais, quinzenais ou mensais. Vale salientar que este monitoramento também evidencia as ações antrópicas em intervalos menores, possibilitando aos órgãos ambientais a implantação de medidas para o seu monitoramento em períodos relativamente curtos e conseqüentemente permitindo a sua mitigação de uma maneira mais ágil. Outro aspecto é a possibilidade do acompanhamento de eventos naturais, como a sazonalidade em alguns biomas, principalmente em algumas regiões tropicais, permitindo entender melhor a sua dinâmica temporal ecológica (Townshend *et al.*, 1991).

2.3 Algumas aplicações no mapeamento das formações vegetais

Com a crescente necessidade de espacializar as comunidades vegetais, para a sua posterior utilização em modelos climáticos e entender melhor os impactos antrópicos e/ou naturais no globo terrestre sobre o seu comportamento dinâmico, dados de sensoriamento remoto orbital têm sido usados para este fim. Em geral, as formações vegetais são divididas em agrupamentos espectrais similares, caracterizando assim as diferentes fitofisionomias, que são variáveis de acordo com o bioma analisado. Em geral, para mapeamentos de grandes extensões territoriais são estabelecidas rotinas computacionais para o processamento digital das imagens de sensoriamento remoto. Citam-se como exemplos as análises de agrupamento (cluster analysis), as árvores de decisões (decision trees), as redes neurais (neural networks), entre outros (Carpenter *et al.*, 1999; Hansen *et al.*, 2000).

Satélite	Sensor	Tipo	Resolução*	Cobertura global	Gratuidade
NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)	AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)	Óptico	1,1km	Sim	Sim
SPOT (Satellite Pour l' Observation de la Terre)	HRV (High Resolution Visible Imaging System)	Óptico	10m; (5m pan)	Não	Não
	Vegetation	Óptico	1,15 km	Sim	Não
ADEOS-II (Advanced Earth Observing Satellite)	GLI (Global Imager)	Óptico	250 m; 1 km	Sim	Não
	POLDER (Polarization and Directionality of the Earth's Reflectance)	Óptico	7x6 km	Sim	Sim
ERS (European Remote Sensing Satellite)	SAR (Synthetic Aperture Radar)	Radar	30 m	Não	Não
RADARSAT	SAR	Radar	10 m; 100 m	Não	Não
JERS (Japanese Earth Resources Satellite)	SAR	Radar	18 m	Não	Sim
	OPS (Optical Sensor)	Óptico	18 x 24 m	Não	Não

*Resolução espacial ao nadir

Tabela 1 - Descrição dos principais sensores orbitais em operação e a serem lançados em órbita no futuro com características potenciais para o estudo da vegetação em níveis local, regional e global. (Continua)

Satélite	Sensor	Tipo	Resolução*	Coertura global	Gratuidade
LANDSAT (Land Satellite)	MSS (Multispectral Scanner)	Óptico	83 m	Não	Sim
	TM (Thematic Mapper)	Óptico	30 m; (120 m termal)	Não	Não
	ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus)	Óptico	30 m; (15 m pan); (60 m termal)	Não	Não
TERRA (Earth Observing System)	MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)	Óptico	250 m; 500 m; 1 km	Sim	Sim
	MISR (Multi-angle Imaging Spectroradiometer)	Óptico	275 m; 1,1 km	Sim	Sim
	ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)	Óptico	15 m; 90 m	Não	Não
AQUA (Earth Observing System)	MODIS	Óptico	250 m; 500 m; 1 km	Sim	Sim
SeaStar	SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field of View)	Óptico	1 km; 4 km	Sim	Não

*Resolução espacial ao nadir

Tabela 1 - Continuação (continua).

Satélite	Sensor	Tipo	Resolução*	Coertura global	Gratuidade
ENVISAT (Environmental Satellite)	MERIS (Medium resolution imaging spectroradiometer)	Óptico	350 m; 1200 m	Sim	Não
	ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar)	Radar	150 m; 1 km	Sim	Não
CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite)	CCD (High Resolution CCD Camera)	Óptico	20m	Não	Sim
	IRMSS (Infrared Multispectral Scanner)	Óptico	80m; (160m thermal)	Não	Sim
	WFI (Wide Field Imager)	Óptico	260m	Não	Sim

*Resolução espacial ao nadir

Tabela 1 - Continuação.

Com respeito ao mapeamento das formações vegetais em nível global, algumas iniciativas podem ser enumeradas. DeFries e Townshend (1994) criaram um mapa de um por um grau e, mais recentemente, um mapa com células de 8km, usando dados do AVHRR (DeFries *et al.*, 1998). Hansen *et al.* (2000) criaram um novo mapa com uma resolução espacial de 1km, a partir dos dados AVHRR, através de classificação por árvores de decisão. Recursos similares foram propostos por Friedl *et al.* (2000ab) para a geração de mapas globais, usando dados do sensor MODIS. Os autores anteriormente mencionados concordam que a precisão destes mapas de vegetação são extremamente dependentes de dados de treinamento e dos métodos de classificação utilizados.

A quantidade de classes utilizadas para a maior parte dos mapeamentos anteriormente citados é, em geral, baseada na delimitação de grandes biomas. Esta delimitação varia evidentemente de acordo com o modelo de circulação atmosférica considerada. Por exemplo, o modelo de transferência da biosfera-atmosfera inclui 18 classes de vegetação (Dickinson, 1995). O modelo simples da biosfera considera apenas nove classes (Sellers *et al.*, 1996). Para grandes projetos adotados por grandes instituições, o Projeto IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme) e uma versão similar adotada pela Universidade de Maryland são as mais utilizadas (Hansen e Reed, 2000). Estes dois projetos possuem respectivamente 17 e 14 classes de vegetação. Devido à limitação das informações de sensoriamento remoto, nem todas as classes de vegetação são distinguíveis entre si, trazendo até hoje ambigüidades nos

resultados. Esta ambigüidade, em geral, está relacionada a biomas em regiões tropicais, que possuem uma grande diversidade fitofisionômica aliada também à questão sazonal, intrínseca a estas formações.

Os sensores orbitais, até então, disponíveis, e cujos dados vêm sendo utilizados no mapeamento da cobertura vegetal, mostraram que vários biomas em função desta grande diversidade podem apresentar limitações em uma discriminação mais detalhada da vegetação. Essas limitações se devem principalmente à geometria de visada desses sensores, que tem se restringido às visadas verticais. Visadas fora do nadir podem resultar em diferenciações mais detalhadas da arquitetura vertical de dosséis florestais e/ou arbustivos. Alguns estudos desta natureza podem ser mencionados. Citam-se os realizados por Zhang *et al.* (2000 e 2002), que espacializaram diferentes fitofisionomias em Savanas Africanas. Os autores concordam que dados multiangulares podem apresentar bons resultados na distinção de fitofisionomias e possuem potencial para a execução de mapeamentos em nível regional, mas que ainda necessitam de mais experimentos para a sua confirmação.

O Brasil, também, possui algumas iniciativas próprias para o mapeamento regional de suas formações vegetais. Citam-se, como exemplos, o Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia Legal (PRODES, INPE, 2003) e o Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica e Ecossistemas Associados (Fundação SOS Mata Atlântica, 2002). Respectivamente, estes dois biomas têm sido mapeados com o objetivo de estimar o impacto antrópico, mediante a quantificação do desflorestamento bruto, para o caso da Floresta Amazônica e de áreas ocupadas por remanescentes florestais para a Mata Atlântica. Entretanto, outros biomas brasileiros, como por exemplo o Cerrado, ainda não possuem uma legislação específica que assegure a sua preservação, justamente por apresentar uma diversidade fisionômica, e a sua caracterização através das técnicas de sensoriamento remoto ainda constitui um desafio.

2.4 Oportunidade para a caracterização de formações vegetais

A limitada utilização de dados de sensoriamento remoto orbital para a caracterização e o monitoramento de grandes áreas na última década se deve às próprias características dos dados de sensoriamento remoto até então disponíveis. Em geral, pela limitada resolução espacial, os dados apresentavam ainda variações na geometria de aquisição, uma baixa qualidade radiométrica e problemas no georeferenciamento dos pixels. Como consequência, até então nunca houve uso efetivo de séries temporais no estudo da vegetação em grandes áreas de uma forma mais acurada, à exceção de estudos localizados.

Comparativamente, as imagens fornecidas pelos satélites comerciais como, por exemplo, os da série Landsat, oferecem melhores resoluções espaciais e espectrais, além de uma maior acuidade e precisão radiométrica. Contudo, a acentuada dinâmica espaço-temporal do uso e ocupação da terra em determinadas regiões tropicais demandam análises rápidas, simplificadas e freqüentes, as quais, de certa forma, são incompatíveis com a resolução de 16 dias, além de envolvimento dos custos de

aquisição. Além disso, a aquisição de dados de uma resolução espacial mais acurada frequentemente são afetados por nuvens e aerossóis nas épocas chuvosas e de seca, o que ocasiona uma diferença de vários meses na data de aquisição de cenas adjacentes e conseqüentemente uma defasagem entre a interpretação e o que de fato ocorreu na paisagem.

Para minimizar esta situação, um número de novos sensores foram lançados e outros serão lançados em um futuro próximo (Tabela 1). Procurando atender às necessidades científicas e ambientais de identificar e monitorar globalmente as formações vegetais, sensores a bordo de novos satélites estão adquirindo dados com alta qualidade nos domínios temporal, espacial, espectral e radiométrico, bem como passaram a ser explorados em diferentes geometrias de aquisição de dados, até então limitadas a visadas verticais.

Como exemplo, destaca-se o lançamento do satélite EOS-AM1 (TERRA), em dezembro de 1999, com sensores como o MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), que iniciou um novo paradigma no sensoriamento remoto orbital. Para dar continuidade ao imageamento da superfície e determinar a variabilidade diurna com uma defasagem de 3 horas no cruzamento do Equador, foi lançado no ano de 2000 o satélite EOS-PM1 (AQUA), carregando, entre vários sensores, um segundo sensor MODIS, permitindo assim a obtenção de imagens praticamente a cada dia e em períodos distintos.

Uma componente chave na melhoria de medidas da superfície terrestre é a estratégia de aquisição. A aquisição de dados oriundos de vários sensores sobre uma mesma área e em um mesmo período permite estudar as várias propriedades da superfície sob diferentes aspectos. A continuidade destas medidas são fatores chave para o sucesso do uso de dados de sensores para a identificação de mudanças e o monitoramento do uso da terra. Outro esforço que merece destaque são os dados disponibilizados pelo CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite), um programa entre a China e o Brasil que pretende fornecer imagens para o estudo local e regional da superfície terrestre por pelo menos 10 anos. O primeiro satélite de uma série de quatro, foi lançado em 1999, e o segundo está em operação desde outubro de 2003.

3 Considerações finais

Como pode ser observado, a importância de mapas atualizados da cobertura vegetal está intrinsecamente relacionada a muitos processos ambientais. A situação atual da cobertura vegetal e o seu monitoramento ao longo do tempo, pode prover informações que em forma de mapas, não somente evidenciam o impacto antrópico e climático no globo, mas são elementos chaves para o estudo de modelos de circulação atmosférica e de ciclos biogeoquímicos.

A derivação de produtos de uso da terra em níveis global e regional, a partir de sensores orbitais tornou-se de uma possibilidade para uma realidade nos últimos vinte e cinco anos. Com a continuação dos esforços das agências espaciais de vários

países, é esperado que iniciativas de monitoramento do uso da terra cresçam, já que atualmente cada vez mais as imagens de sensoriamento remoto são tratadas como um bem público. A iniciativa de distribuir imagens sem custo é de grande importância ao público, que já faz uso deste tipo de recurso, como também o fato de promover uma espécie de inclusão social e aproximar a sociedade aos programas espaciais de seus respectivos países.

Outro ponto favorável é que uma boa parte de dados está, muitas vezes, disponível gratuitamente na rede mundial de computadores. A política de distribuição propõe a oferta gratuita de imagens para todos os usuários que tenham interesse na obtenção de dados, o que inclui órgãos públicos, Universidades, Centros de Pesquisa e ONGs, além da Iniciativa Privada. A partir destas iniciativas, não mais se justifica que qualquer Instituição, Prefeitura ou Comitês de Bacias Hidrográficas, por exemplo, deixem de usar imagens de satélite e obter os benefícios do sensoriamento remoto por causa de seus custos. Não há dúvida de que várias outras aplicações não foram abordadas neste trabalho, mas é altamente encorajado este panorama com a disponibilidade e o acesso gratuito à maioria dos dados e dos produtos gerados pela nova geração de sensores orbitais, de modo que iniciativas por parte de instituições cresçam e possam gerar benefícios cada vez maiores ao conhecimento do planeta Terra.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - Processos 130230/2003-0 e 381656/2005-5). O autor agradece aos revisores anônimos pelas contribuições.

Referências

- CARPENTER, G. A.; GOPAL, S.; MACOMBER, S.; MARTENS, S.; WOODCOK, C. E.; FRANKLIN, J. A neural network method for efficient vegetation mapping. **Remote Sensing of Environment**, v.70, n.3, p.326-338, 1999.
- CHASE, R. R. P. Toward a complete EOS data and information system. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.27, n.2, p.125-131, 1989.
- DEFRIES, R. S.; HANSEN, M.; TOWNSHEND, J. R. G.; SOHLBERG, R. Global land cover classification at 8km spatial resolution: the use of training data derived from Landsat imagery in decision tree classifier. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, n.16, p.3141-3168, 1998.
- DEFRIES, R. S.; TOWNSHEND, J. R. G. NDVI-derived land cover classification at global scales. **International Journal of Remote Sensing**, v.15, n.17, p.3567-3586, 1994.

- DICKINSON, R. E. Land processes in climate models. **Remote Sensing of Environment**, 51 (1): 27-38, 1995.
- DUTTON, J. A. The EOS data and information system: concepts for design. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.27, n.2, p.109-116, 1989.
- FRIEDL, M. A., MUCHONEY, D.; MCIVER, D.; GAO, F.; HODGES, J. C. F.; STRAHLER, A. H. Characterization of North American land cover from NOAA-AVHRR data using the EOS MODIS land cover classification algorithm. **Geophysical Research Letters**, v.27, n.7, p.977-989, 2000a.
- FRIEDL, M. A., WOODCOCK, C. E., GOPAL, S.; MUCHONEY, D.; STRAHLER, A. H.; BARKER-SCHAAF, C. A note on procedures used for accuracy assessment in land cover maps derived from AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v.21, n.12, p.1073-1077, 2000b.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica e de seus Ecossistemas Associados. Disponível em: <<http://www.sosmatatlantica.org.br>>. Acesso em: Dez. 2002.
- HANSEN, M. C.; DEFRIES, R. S.; TOWNSHEND, J. R. G.; SOHLBERG, R. Global land cover classification at 1km spatial resolution using a classification tree approach. **International Journal of Remote Sensing**, v.21, n.15, p.1331-1364, 2000.
- HANSEN, M. C.; REED, B. A comparison of the IGBP DISCover and University of Maryland 1km global land cover products. **International Journal of Remote Sensing**, v.21, n.15, p.1365-1373, 2000.
- IGBP Terrestrial Carbon Working Group. The terrestrial carbon cycle: implications for the Kyoto Protocol. **Science**, v.280, n.5368, p.1393-1394, 1998.
- INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. PRODES. Monitoramento do Desflorestamento Bruto da Amazônia Brasileira. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>>. Acesso em: Dez. 2003.
- KAUFMAN, Y. J.; HERRING, D. D.; RANSON, K. J.; COLLATZ, G. J. Earth Observing System AM1 mission to Earth. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.36, n.4, p.1045-1055, 1998.
- MYNENI, R. B.; KEELING, C. D.; TUCKER, C. J.; ASRAR, G.; NEMANI, R. R. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981-1991. **Nature**, v.386, n.6626, pp.698-702, 1997.
- ROSENQVIST, A.; IMHOFF, M.; MILNE, A.; DOBSON, C. **Remote Sensing and the Kyoto Protocol: A Review of Available and Future Technology for Monitoring Treaty Compliance**. Ann Arbor, Michigan: 1999. 19p.
- ROSENQVIST, A.; MILNE, A.; LUCAS, R.; IMHOFF, M.; DOBSON, C. A review of remote sensing technology in support of the Kyoto Protocol. **Environmental**

- Science and Policy**, v.6, n.5, p.441-455, 2003.
- SELLERS, P. J.; RANDALL, D. A.; COLLATZ, G. J.; BERRY, J. A.; FIELD, C. B.; DAZLICH, D. A.; ZHANG, C.; COLLELO, G. D.; BOUNOUA, L. A Revised Land Surface Parameterization (SiB2) for Atmospheric GCMs. Part I: Model Formulation. **Journal of Climate**, v.9, n.4, p.676-705, 1996.
- TEILLET, P. M.; STAENZ, K.; WILLIAMS, D. J. Effects of spectral, spatial, and radiometric characteristics on remote sensing vegetation indices of forested regions. **Remote Sensing of Environment**, v.61, n.1, p.139-149, 1997.
- TOWNSHEND, J. R. G., JUSTICE, C. O. Selecting the spatial resolution of satellite sensors required for global monitoring of land transformations. **International Journal of Remote Sensing**, v.9, p.187-236, 1988.
- TOWNSHEND, J. R. G.; JUSTICE, C. O.; LI, W.; GURNEY, C.; McMANUS, J. Global land cover classification by remote sensing: present capacities and future possibilities. **Remote Sensing of Environment**, v.35, n.2-3, p.243-256, 1991.
- VITOUSEK; P. M.; MOONEY, H. A.; LUBCHENCO, J.; MELILLO, J. M. Human Domination of Earth's Ecosystems. **Science**, v.277, n.5325, p.494-499, 1997.
- ZHAN, X.; SOHLBERG, R. A.; TOWNSHEND, J. R. G.; DIMICELI, C.; CARROLL, M. L.; EASTMAN, J. C.; HANSEN, M. C.; DEFRIES, R. S. Detection of land cover changes using MODIS 250 m data. **Remote Sensing of Environment**, v.83, n.1-2, p.336-350, 2002.
- ZHANG, Y.; TIAN, Y.; KNYAZIKHIN, Y.; MARCONCHIK, J.V.; DINER, D. J.; LEROY, M.; MYNENI, R.B. Prototyping of MISR LAI and FPAR Algorithm with POLDER Data over Africa. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.38, n.5, p.2402-18, 2000.
- ZHANG, Y.; TIAN, Y.; MYNENI, R. B. KNYAZIKHIN, Y.; WOODCOCK, C. E. Assessing the information content of multiangle satellite data for mapping biomes: II. Theory analysis. **Remote Sensing of Environment**, v.80, n.3, p.418-434, 2002.