

Tecnologia Espacial como Suporte à Gestão dos Recursos Naturais

THELMA KRUG

INTRODUÇÃO

Desde a constatação da potencialidade da obtenção de dados a partir do espaço, que se converteriam em valiosas informações sobre a superfície terrestre, a evolução de satélites de sensoriamento remoto tem sido contínua. Fixando a atenção exclusivamente nos sistemas civis (e não militares) desenvolvidos para aplicações, destacam-se os que compreendem aplicações meteorológicas, como é o caso do Meteosat e NOAA, que provêm informações valiosas para previsão meteorológica e climática, e os voltados para aplicações sobre os recursos terrestres, como é o caso dos satélites americano Landsat, francês SPOT, europeu ERS, indiano IRS, japonês JERS, russo Resours, etc.

No Brasil, as primeiras iniciativas na capacitação de recursos humanos na área de sensoriamento remoto foram motivadas pelo lançamento eminente do então denominado satélite ERTS-1 (*Earth Resources Technology Satellite*) da NASA, que operou de 1972 a 1978. Por volta de 1970, uma equipe de brasileiros foi treinada nos Estados Unidos para interpretar imagens do futuro satélite, com vistas a aplicações em distintas áreas do conhecimento: agricultura, oceanografia, geologia, estudos aquáticos, estudos de vegetação, entre outras. Ao retornar ao país, a equipe brasileira basicamente se dividiu em duas: uma que se estabeleceu no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), dando origem ao curso de mestrado em sensoriamento remoto no país, visando ampliar o número de especialistas na utilização da nova tecnologia, e outra que se concentrou no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), tendo ativamente participado do Projeto Radambrasil, projeto este que propiciou o mapeamento dos recursos naturais do país a partir de uma missão aerotransportada equipada com um sistema de radar.

A partir das primeiras imagens do satélite ERS-1 (posteriormente renomeado Landsat-1), ficou evidente que a utilização de dados orbitais seria a única forma de se obter dados e informações sobre o território nacional de maneira sistemática e regular, tendo em vista a extensa área geográfica do país. Sensoriamento remoto provia um meio sistemático e

eficiente de se obter informações sobre a superfície terrestre a um custo relativamente baixo, quando comparado às técnicas de aerofotogrametria. Adicionalmente, outras características dos dados orbitais, tais como aquisição simultânea de dados em diferentes faixas do espectro eletromagnético, periodicidade de aquisição de dados sobre uma mesma área no terreno, larga faixa de imageamento, independência das condições atmosféricas para coleta de dados, estimularam o país a investir na criação da infra-estrutura necessária para recepção de dados de satélite, seu pré e pós-processamento, e na capacitação de recursos humanos.

Atualmente, vários projetos relacionados ao monitoramento de recursos naturais do país são desenvolvidos com a utilização de tecnologia espacial. Aqui, serão mencionados os que mais se destacam, como o Projeto **Prodes** (Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia), **Proarco** (Projeto de Controle de Queimadas e Prevenção de Incêndios Florestais, Zoneamento Ecológico Econômico, etc.), assim como se apontará para as áreas consideradas prioritárias para desenvolvimento de novas metodologias.

PROJETO PRODES

O Prodes é considerado o maior projeto de monitoramento de florestas do mundo utilizando técnicas de sensoriamento remoto por satélite. O INPE, há muitos anos, promove a interpretação de imagens do satélite norte-americano Landsat para acompanhar a evolução do desflorestamento bruto da Amazônia brasileira. O primeiro levantamento feito pelo Instituto correspondeu aos anos 1974 e 1978. A partir de 1988, foram feitos levantamentos anuais, gerando estimativas periódicas da extensão e taxa média do desflorestamento bruto da Amazônia.

Para este projeto, conhecido como Prodes, desflorestamento é entendido como a conversão de áreas de fisionomia florestal primária por ações antropogênicas, detectadas a partir de plataformas orbitais. O termo desflorestamento bruto indica que não são deduzidas, no cálculo da extensão e da taxa, áreas em processo de sucessão secundária ou recomposição florestal. Desta forma, alterações em áreas florestais decorrentes de atividades de extração madeireira ou manejo florestal (corte seletivo) não são consideradas no PRODES, sendo objeto de outro projeto específico, também apoiado em análise de imagens orbitais.

A Amazônia brasileira compreende nove estados, totalizando uma área de aproximadamente 5 milhões de quilômetros quadrados. Desses, cerca de 4 milhões correspondem a áreas com fisionomia florestal primária, identificadas nas 229 imagens do satélite Landsat na escala

1:250.000 que cobrem a região. Cada levantamento envolve aproximadamente 50.000 pessoas x hora, 10.000 máquinas x hora e várias empresas nacionais especializadas em sensoriamento remoto.

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam a extensão do desflorestamento bruto em km², a taxa média do desflorestamento bruto em km²/ano e em porcentagem/ano, respectivamente.

Tabela 1 – Extensão do desflorestamento bruto (km²) de janeiro 1978 a agosto 1997

Estados da Amazônia	Jan/78	Abr/88	Ago/89	Ago/90	Ago/91	Ago/92	Ago/94	Ago/95	Ago/96	Ago/97
Acre	2500	8900	9800	10300	10700	11100	12064	13306	13742	14203
Amapa	200	800	1000	1300	1700	1735	1736	1782	1782	1846
Amazonas	1700	19700	21700	22200	23200	23999	24739	26629	27434	28140
Maranhão	63900	90800	92300	93400	94100	95235	99979	97761	99338	99789
Mato Grosso	20000	71500	79600	83600	86500	91174	103614	112150	119141	125023
Pará	56400	131500	139300	144200	148000	151787	160355	169007	176138	181225
Rondônia	4200	30000	31800	33500	34600	36865	42055	46152	48648	50529
Roraima	100	2700	3600	3800	4200	4481	4961	5124	5361	5563
Tocantins	3200	21600	22300	22900	23400	23809	24475	25142	25483	25768
Amazônia Brasileira	152200	377500	401400	415200	426400	440186	469978	497055	57069	532086

Tabela 2 – Taxa média do desflorestamento bruto (km²/ano) de 1978 a 1997

Estados da Amazônia	77/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/94	94/95	95/96	96/97
Acre	620	540	550	380	400	482	1208	433	358
Amapa	60	130	250	410	36	-	9	-	18
Amazonas	1510	1180	520	980	799	370	2114	1023	589
Maranhão	2450	1420	1100	670	1135	372	1745	1061	409
Mato Grosso	5140	5960	4020	2840	4674	6220	10391	6543	5271
Pará	69900	5750	4890	3780	3787	4284	7845	6135	4139
Rondônia	2340	1430	1670	1110	2265	2595	4730	2432	1986
Roraima	290	630	150	420	281	240	220	214	184
Tocantins	1650	730	580	440	409	333	797	320	273
Amazônia Brasileira	21130	17860	13810	11130	13786	14896	29059	18161	13227

Tabela 3 – Taxa média do desflorestamento bruto (%/ano) de 1978 a 1997

Estados da Amazônia	77/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/94	94/95	95/96	96/97
Acre	0,42	0,39	0,39	0,28	0,29	0,35	0,86	0,31	0,26
Amapá	0,06	0,12	0,23	0,37	0,03	-	0,01	-	0,02
Amazonas	0,10	0,08	0,04	0,07	0,06	0,03	0,14	0,07	0,04
Maranhão	1,79	1,30	1,03	0,63	1,07	0,35	3,21	2,01	0,40
Mato Grosso	1,01	1,31	0,90	0,64	1,05	1,40	2,43	1,56	1,25
Pará	0,62	0,55	0,47	0,37	0,37	0,42	0,74	0,62	0,41
Rondônia	1,11	0,78	0,91	0,62	1,27	1,46	2,75	1,45	1,18
Roraima	0,18	0,39	0,10	0,27	0,18	0,15	0,14	0,14	0,11
Tocantins	2,97	2,00	1,61	1,61	1,17	0,95	2,29	0,94	0,81
Amazônia Brasileira	0,54	0,48	0,37	0,30	0,37	0,40	0,81	0,51	0,37

A partir da utilização de um Sistema de Informação Geográfico, é possível também identificar as fisionomias florestais alteradas, integrando os incrementos anuais de desflorestamento ao Mapa de Vegetação do Radam (Fibge). Adicionalmente, o PRODES apresenta também a distribuição dos novos desflorestamentos por classe de tamanho, de forma a fornecer aos órgãos governamentais e não-governamentais indicadores sobre as possíveis causas do desflorestamento na Amazônia. A Figura 1 (a e b), na página a seguir, mostra a espacialização da Floresta Ombrófila Densa na Amazônia e a distribuição da taxa média do desflorestamento bruto por classe de tamanho para os anos 1995, 1996 e 1997.

Finalmente, o PRODES permite também identificar as áreas críticas na Amazônia, definidas como as áreas contidas em um conjunto de cenas TM Landsat (*Thematic Mapper*) que compreende aproximadamente 75% da taxa média anual do desflorestamento bruto da Amazônia. Este conjunto envolve menos de 50 cenas, as quais vem sendo utilizadas para fornecer a estimativa provisória da taxa média do desflorestamento bruto ocorrido a cada ano. Esta estimativa provisória, baseada em uma amostra de imagens, antecipa ao governo as estimativas baseadas na análise de todas as cenas que cobrem a região, permitindo que ações sejam tomadas com razoável antecedência.

PROJETO PROARCO

Sob o ponto de vista ambiental, os temas que mais frequentemente sensibilizam a mídia em níveis nacional e internacional estão relacionados às atividades de desflorestamento e de queimadas, principalmente na região amazônica. Através do Projeto Prodes, a tecnologia espacial vem permitindo um monitoramento contínuo, auxiliando a tomada de decisão por parte das autoridades governamentais. No tangente às queimadas, cada vez mais as técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo utilizadas

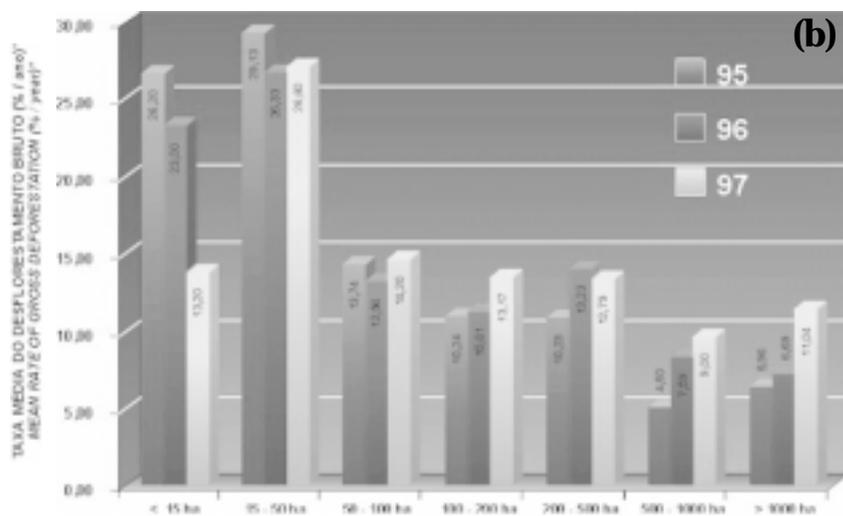
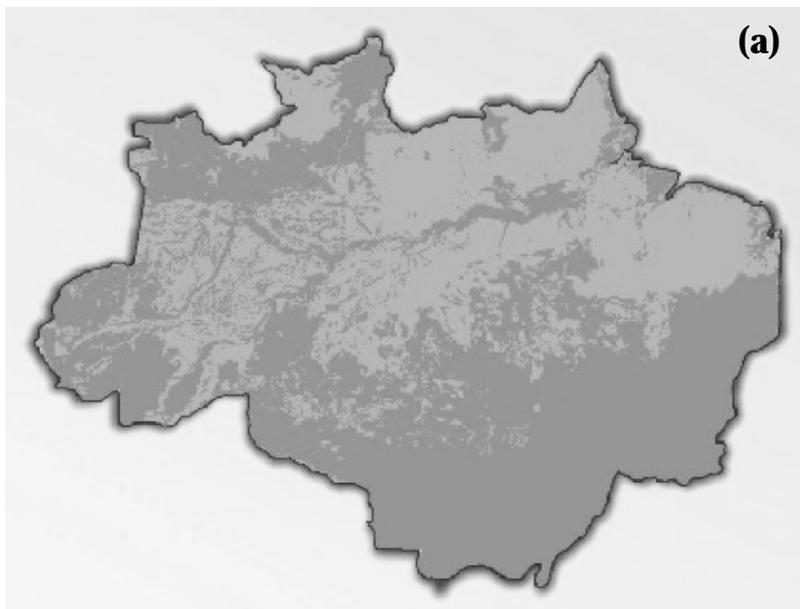


Figura 1 (a) – Espacialização da Floresta Ombrófila Densa na Amazônia; **(b)** Distribuição da taxa média do desflorestamento bruto por classe de tamanho para os anos 1995, 1996 e 1997.

para apoiar ações voltadas à fiscalização e controle de queimadas, com vistas a prevenir a ocorrência de incêndios florestais, como o ocorrido no estado de Roraima, no início de 1998.

Há mais de 10 anos, o país reconheceu a importância de tratar o assunto de maneira sistemática. Através de uma cooperação estabelecida em 1988 entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF, hoje IBAMA), foi criado um projeto específico voltado para a detecção de focos de calor em praticamente toda a extensão do território nacional. Este projeto se apoiou no uso de dados coletados por um satélite meteorológico, que tinha à bordo um equipamento (sensor) sensível à temperatura dos alvos na superfície por ocasião do momento de passagem do satélite. A constatação de que esses dados poderiam ser extremamente relevantes para a detecção de alvos com altas temperaturas resultou de um projeto conjunto realizado entre o INPE e a agência espacial americana (NASA) em 1986. Foi a partir desta data que se identificou o potencial do satélite meteorológico da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), concebido originalmente para prover imagens meteorológicas duas vezes ao dia para fins de previsão de tempo, em estudos relacionados a focos de calor na superfície terrestre. O projeto desenvolvido entre o INPE e o Ibama tornou-se operacional, e está em pleno funcionamento até o presente.

Hoje, o país é dotado de um sistema para prevenção de incêndios florestais que vem sendo considerado internacionalmente como um dos melhores do mundo. Este sistema, na realidade, surgiu em decorrência do incêndio florestal ocorrido no estado de Roraima no início de 1998, e que foi responsável pela queima (total ou parcial) de significativa área de fisionomia florestal no estado.

Diariamente, focos de calor extraídos de imagens dos satélites meteorológicos NOAA-12 e NOAA-14 e informações pluviométricas produzidas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do INPE são incorporados a uma base de dados composta por mapas de vegetação, mosaico de imagens do satélite Landsat, divisão política municipal e estadual, rede de drenagem e malha rodoviária, fornecendo indicadores que orientam as ações do IBAMA (órgão responsável pela implantação do Programa PROARCO) e outros órgãos governamentais e não-governamentais na prevenção de incêndios florestais.

Esta base de dados é construída utilizando-se a tecnologia Spring, desenvolvida na Divisão de Processamento de Imagens do INPE e de domínio público. A sua visualização é feita pela Internet, de forma interativa, permitindo a descentralização das ações de fiscalização, controle e prevenção em níveis municipal e estadual. O Proarco inclui também

um mapa de risco de fogo, atualizado diariamente, resultado da integração de dados de precipitação, estresse hídrico da vegetação, incidência histórica de focos de calor, entre outros dados extraídos de produtos orbitais.

A importância de dados de sensoriamento remoto para monitorar queimadas ativas e transporte de aerossóis, visando conhecer melhor o papel dos efeitos radiativos dos aerossóis originados pela queima de biomassa nos cálculos de mudanças climáticas, já foi reconhecida (Prins e Menzel, 1992). Prins et al. (1998) menciona que a maior parte da queima de biomassa ocorre nos países em desenvolvimento nos trópicos e subtropicais da África, América do Sul e Sudoeste da Ásia, onde o sensoriamento remoto é frequentemente a melhor forma de se quantificar a extensão e distribuição das queimadas e fumaça em escalas local, regional e continental.

Devido à ampla cobertura fornecida pelos satélites meteorológicos em várias passagens diárias, constatações sobre a dinâmica das queimadas no país, sua quantidade e distribuição espacial são possíveis. Por exemplo, durante uma campanha realizada em 1995 na região amazônica (denominada SCAR-B - *Smoke, Clouds and Radiation-Brazil*), para estudos relacionados à queima de biomassa, Prins et al. (1998) observou o seguinte, a partir da análise de dados do satélite meteorológico GOES-8 coletados às 11:45, 14:45; 17:45 e 20:45 UTC, no período de junho a outubro de 1995: (a) embora o pico de queimadas geralmente ocorra em meados da tarde, queimadas ocorrem durante todo o dia, com condições de flamabilidade durando somente algumas horas; (b) somente 20% dos pixels foram identificados em mais do que um período de tempo; (c) a maior parte das queimadas se concentrou na Amazônia; (d) uma composição das queimadas durante toda a estação mostrou padrões de queimada distintos ao longo de rios e em áreas próximas a estradas recém construídas e instalações associadas; (e) em média, 35% das queimadas se distribuíram em áreas de floresta densa; mais do que 45% se concentrou em áreas de cerrado, formações arbustivas e gramíneas. A tecnologia espacial é fundamental para propiciar um conhecimento mais completo da situação de queimadas no país. Com a evolução na área espacial e a expectativa de lançamento de novos satélites de sensoriamento remoto, várias questões que atualmente não são bem conhecidas poderão ser melhor compreendidas.

INCÊNDIO DE RORAIMA

O incêndio de Roraima, ocorrido no início de 1998, resultou da combinação de uma condição de extrema seca na região, provocada pelo fenômeno El Nino e a estação seca. Esses dois elementos, em associação, foram responsáveis pelo fato das tradicionais queimadas em

áreas savânicas terem saído fora de controle, adentrando áreas de floresta e caracterizando uma situação de incêndio florestal. Durante os meses de janeiro e fevereiro, a distribuição do fogo foi muito semelhante àquela observada em período semelhante em 1995. Foi somente a partir de março que se intensificou a expansão do fogo em áreas com fisionomia florestal, provocando uma situação de incêndio (queimada fora de controle) somente debelado em 1º de abril, com o início das chuvas. Essas constatações foram também feitas a partir da análise dos dados do satélite meteorológico americano, chamado *Defense Meteorological Satellite Program*. Foi somente a partir da análise dessas imagens, processadas para os meses de janeiro a março de 1998 que se identificou, pela primeira vez, a real extensão da área afetada pelo fogo no estado de Roraima. Apesar de hoje se conhecer, com relativa confiança, a extensão da área de floresta afetada, não se pode ainda afirmar com exatidão o impacto real do incêndio no que se refere ao grau de queima efetivo. Desta forma, algumas áreas afetadas podem ter sido somente superficialmente atingidas, enquanto outras tiveram suas florestas totalmente carbonizadas. Esta questão ainda está sendo conjuntamente analisada por todos os órgãos (instituições de pesquisa, universidades, órgãos governamentais, etc.) que, direta ou indiretamente, estiveram envolvidos na questão. Para estimar a área afetada, o INPE utilizou dados de diversos satélites além de dados obtidos com uma câmara digital acoplada na sua aeronave Bandeirante e dados de campo obtidos por diversas equipes de técnicos e cientistas que se deslocaram para a região durante o evento (INPA, INPE, IBAMA, UnB, UFRJ, Brigada de Infantaria de Fogo, etc.). Esses dados foram confrontados com outros, indicando alto grau de concordância.

DESAPROPRIAÇÕES AMBIENTAIS

Um dos projetos que utilizam Sistemas de Informação Geográfica para integração de dados de sensoriamento remoto e outros (cartográficos, topográficos, etc.) e que teve um impacto significativo no processo de indenização por desapropriação surgiu em decorrência da criação de parques e reservas florestais, gerando uma metodologia para indicar as áreas de proteção permanente (APP) e avaliar o uso e ocupação do solo. Essas informações são utilizadas para contestar laudos realizados por peritos que pleiteiam indenizações milionárias para as áreas desapropriadas. Como exemplos da aplicação da metodologia desenvolvida pelo INPE, em conjunto com técnicos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), foram selecionados um imóvel localizado no Parque Estadual de Jacupiranga no estado de São Paulo e outro na área de proteção ambiental (APA) de Guaraqueçaba, no estado do Paraná. Esses imóveis foram indicados pelo Ministério Público do Estado de São Paulo. As APAs são áreas onde a vegetação não pode ser

explorada e, portanto, não são passíveis de indenização e incluem: (a) as áreas com declividade superior a 45°; (b) as margens e nascentes dos rios; e (c) o terço superior dos morros. Adicionalmente, áreas com declividade de 25° a 45°, somente podem ser exploradas mediante Plano de Manejo Florestal.

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento permitiu a geração de um mapa de uso do solo, indicando áreas com cobertura de vegetação com valor econômico; com cobertura de vegetação sem valor econômico significativo e áreas desmatadas ou campo de altitude. Sobre o mapa de uso do solo foram identificadas as APPs. Foram também identificadas sobre o mapa de uso do solo as áreas com declividade de 25° a 45°. Com base nessas informações, extraídas de dados orbitais (Landsat e SPOT), fotografias aéreas de arquivo e cartas topográficas, foi avaliada a área de vegetação com valor econômico passível de ser explorada.

A definição das áreas passíveis de exploração foi utilizada pelo IPT para avaliar o valor da indenização, estimada, pelo perito, em R\$ 325 milhões (podendo resultar em um precatório de cerca de R\$ 1 bilhão). O estudo em questão indicou que o valor da indenização não deve exceder R\$ 12 milhões.

ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO

O Programa de Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia Legal foi estabelecido em 1991 pelo Governo Federal, sendo definido como *um dos instrumentos para a racionalização da ocupação dos espaços e redirecionamento de atividades e para o fornecimento de subsídios a estratégias e ações para a elaboração e execução de planos regionais, em busca do desenvolvimento sustentável.*

O zoneamento é entendido como um instrumento básico para o desenvolvimento sustentável, na medida em que incorpora a dimensão ambiental e a produtiva, considerando o desenvolvimento humano e da consolidação institucional. Para tanto, a definição das zonas ecológico-econômicas deve ser resultante de uma metodologia integradora, de atualização permanente e em tempo real, o que só é possível hoje com o desenvolvimento de técnicas de coleta, tratamento e análise de informações, dos quais deve-se destacar os Sistemas de Informação Geográfica, que permitem o estabelecimento de relações espaciais entre informações temáticas georreferenciadas (MMA, 1997).

O procedimento metodológico do ZEE contempla a elaboração de três cartas: duas temáticas (vulnerabilidade natural e potencialidade

social) e uma carta síntese de subsídio à gestão do território, baseada nos níveis de sustentabilidade e na legislação existente.

A contribuição de dados de sensoriamento remoto no ZEE é significativa, principalmente na elaboração da carta temática de vulnerabilidade natural, que envolve a análise integrada do conjunto rocha, solo, relevo e vegetação, bem como do clima e uso da terra.

SISTEMA DE ALERTA DE DESASTRES NATURAIS

Dados de sensoriamento remoto são considerados uma ferramenta de informação extremamente poderosa e o seu uso tem sido demonstrado em um variedade crescente de iniciativas para suporte ambiental. Uma iniciativa importante e que se apoia fortemente em dados orbitais refere-se ao estabelecimento de centros de informação para administração de desastres naturais (*disaster management*). Obviamente, nenhuma sociedade está livre da ameaça de desastres naturais. Entretanto, é imperativo que os recentes avanços tecnológicos nas áreas de comunicações, sensoriamento remoto (incluindo sistemas de informação geográfica), capacidades computacionais sejam utilizados no sentido de permitir acesso a um conjunto maior de informações, de forma a reduzir perdas de vida e perdas econômicas. Tem sido crescente a utilização de Sistemas de Informação Geográfica, Sistemas de Posicionamento Global (GPSs) e no desenvolvimento de modelos e técnicas de simulação. Cada um desses elementos adiciona valor na caracterização de áreas de risco e zonas de desastres, e são essenciais para tornar mais eficiente a utilização de recursos escassos.

Os Estados Unidos têm uma das mais elevadas taxas de desastres naturais no mundo, afetando todos os seus estados (GDIN, 1997). Terremotos e ciclones atingem os grandes centros populacionais da costa leste e oeste do país, provocando danos significativos. Um sistema de informações compreendendo dados de diversas fontes (sensoriamento remoto, mapas, relatórios) certamente contribuirá para melhorar o conhecimento de áreas de risco, predição e levantamento de danos.

Técnicas de sensoriamento remoto podem contribuir significativamente nos seguintes eventos: poluição industrial, catástrofe nuclear, derramamento de petróleo; deslizamentos, vulcões, terremotos; incêndios; enchentes, tempestades de vento, ciclones tropicais, tornados, por meio de fenômenos mensuráveis tais como contaminação da água, estresse da vegetação, variações do solo, tipo de vegetação e estatus, etc.

Possivelmente, os dois sistemas mais utilizados no suporte a administração de desastres são os sensores multiespectrais e os sistemas de radar. A vantagem dos sensores multiespectrais é que eles provêm

informação sobre uma variedade de bandas selecionadas do espectro eletromagnético. Isto permite uma melhor discriminação dos alvos na superfície terrestre. Dados de radar tendem a complementar dados multiespectrais, provendo melhores representações da topografia e de padrões de drenagem, além de ter uma capacidade de imageamento à noite e em condições meteorológicas adversas.

AGENDA 21

A Agenda 21 é um programa mundial de ação voltado para o desenvolvimento sustentável, e que constitui o início de uma parceria global voltada para melhorar a qualidade de vida de todo o mundo, sem sacrificar a integridade ambiental. Com suas ações voltadas principalmente na proteção do meio ambiente e no início de desenvolvimento sustentável, necessariamente requer o monitoramento de um meio ambiente em contínua alteração. Um pré-requisito para o acompanhamento efetivo do meio ambiente está relacionado à habilidade de se monitorar o status do ambiente e suas variações nos domínios espacial e temporal. O excelente potencial da tecnologia espacial para prover medidas sinóticas e repetitivas de amplas (ou mesmo inacessíveis) áreas, faz com que ela se constitua em uma ferramenta única para o monitoramento e administração do meio ambiente em escala global (Rao et al., 1995).

Segundo o mesmo relatório (Rao et al., 1995), a tecnologia espacial, utilizada para se atingir desenvolvimento sustentável e integrado, está emergindo como uma ferramenta poderosa para combater a pobreza. Devido à capacidade dos satélites de sensoriamento remoto gerar informações sobre os recursos naturais em várias escalas e com alta relação custo/benefício, ela é ideal para o levantamento das bases de recursos de uma região em nível micro, até monitorar os fatores que contribuem para a degradação ambiental e mudanças globais. A integração de informações extraídas do espaço sobre características do solo, cobertura florestal, potencial agrícola, potencial de água profunda e superficial, e meteorológicas, com dados sócio-econômicos permite delinear estratégias apropriadas de desenvolvimento que podem ser implementadas em nível micro, para melhorar a produtividade. Dados de sensoriamento remoto estão sendo utilizados operacionalmente para mapear a extensão da desertificação, gerando métodos apropriados para evitar a sua expansão e administração ótima de áreas áridas. Monitoramento de florestas tropicais, erosão do solo, poluição ambiental, status agrícola, padrões de uso da terra, recursos aquáticos, e mudança do nível do mar ao longo da costa são atividades fundamentais para se atingir uma administração integrada dos recursos.

SENSORIAMENTO REMOTO: O FUTURO

Constantemente, novos satélites são lançados, incorporando aperfeiçoamentos que incluem alta resolução espacial, cobertura mais ampla e menores tempos de revisita. Em alguns sistemas, esses aperfeiçoamentos incluem melhor qualidade dos dados, em função do desenvolvimento de técnicas mais avançadas de calibração. Os novos (ou recentes) tipos de satélites de sensoriamento remoto buscam prover alta resolução espacial (tipicamente 3 metros na banda pancromática); coletar dados em centenas de bandas estreitas, com resolução de aproximadamente 20 metros, e bandas variando do visível até o infravermelho médio (satélites hiperespectrais); ou operar com sistemas radar (SAR – *Synthetic Aperture Radar*, Satélites de Abertura Sintética) que, além de serem insensíveis às condições meteorológicas adversas e horário de aquisição de dados, fornecem informações sobre relevo, umidade do solo, entre outros, que não são passíveis de serem providas por sistemas óticos (Landsat, SPOT, por exemplo). Infelizmente, duas iniciativas recentes de lançamento de satélites óticos de alta resolução espacial, não foram bem sucedidas. É o caso dos satélites *Early Bird* (*Earthwatch*, EUA) e *Ikonos* (*Space Imaging*, EUA), com resoluções espaciais de 3 m (na banda pancromática); e 3,27 m nas bandas azul, verde, vermelho e infravermelho próximo e 0,82 m na banda pancromática, respectivamente.

A oportunidade de monitorar a superfície da Terra com maior detalhe contribui para um melhor entendimento dos efeitos ambientais previamente ignorados, exagerados ou inadequadamente relatados. Os novos satélites têm inúmeras aplicações. Os dados de radar possibilitam monitorar áreas anteriormente escondidas pela presença de nuvens; dados de elevação do terreno (em três dimensões) constituem elementos de análise extremamente valiosos para monitorar processos e mudanças ambientais. Quando combinados com imagens multiespectrais, são importantes na análise de formas geológicas, previsão de enchentes e secas críticas para vegetação, erosão, e muitos outros processos naturais.

As imagens multiespectrais de alta resolução também serão relevantes na identificação de variações em plantios, auxiliando a detecção de anomalias tais como doenças, infestação de insetos, estresse de nutrientes, falhas de irrigação, em áreas tão pequenas quanto 1 metro quadrado e, muitas vezes, antes da condição estar visível a olho nu. Contribuirão também para estender as técnicas de agricultura de precisão, que reduzem perdas e poluição pela aplicação precisa de fertilizantes, pesticidas ou água em doses que variam muito no campo de acordo com as necessidades imediatas.

Segundo Kilston (1998), uma empresa americana está desenvolvendo um sistema para processar e integrar informações utilizando imagens de alta resolução e exatidão, para mapeamento de campos cultivados, extraíndo informação da cultura a partir de dados

arquivados de satélite e fotografias aéreas, registro de crescimento, dados meteorológicos, mapas de elevação, e outros dados. Essas informações podem ser de extrema importância na agricultura.

Cada um dos novos satélites programados contribuirá não só para um aumento significativo em desempenho e número, como também melhorarão a informação e o entendimento que contribuirão para a melhor tomada de decisão para o planeta e para as futuras gerações.

MUDANÇAS GLOBAIS

Temas relativamente recentes, como o relacionado a Mudanças Globais, promoveram o desenvolvimento de novos satélites voltados não somente para identificar/mapear/monitorar recursos naturais, mas para melhor entender como a Terra está mudando, promovendo o desenvolvimento e validação de modelos preditivos globais. Assim, o *Earth Observing System (EOS) Program* foi concebido em 1979 para focar, mais precisamente, os vários elementos não só terrestres como atmosféricos para atender os objetivos propostos. Temas tais como radiação, nuvens, vapor d'água, precipitação e circulação atmosférica; circulação oceânica, produtividade, e trocas com a atmosfera; química da atmosfera e gases de efeito estufa; ecossistemas terrestres e hidrologia; ozônio e química da estratosfera; vulcões e efeitos climáticos de aerossóis.

As medidas do EOS permitirão melhor conhecimento dos aspectos físicos e biológicos dos oceanos, incluindo sua circulação, produtividade, e seu papel na troca de gases (tais como dióxido de carbono) com a atmosfera. As observações relacionadas com gases de efeito estufa e química da baixa atmosfera promoverão um melhor entendimento dos eventos que controlam a produção de ozônio estratosférico, incluindo a ocorrência de queimadas e as mudanças na cobertura terrestre que estão ocorrendo em todo o mundo.

O EOS foi concebido para prover um melhor conhecimento de todo o sistema terrestre em escala global, por meio de uma compreensão mais profunda dos componentes deste sistema, suas interações, e como a Terra está mudando. As medidas globais homogêneas, de longo prazo, proporcionadas pelo EOS resultarão em um melhor levantamento das mudanças globais, resultando numa maior habilidade para prever variabilidades climáticas sazonais e interanuais. Através do EOS pode-se antecipar uma melhoria significativa na nossa habilidade de entender e prever mudanças globais e seus efeitos nas atividades humanas (EOS, 1999).

COMENTÁRIOS FINAIS

Nesta breve apresentação foram relatados alguns exemplos de utilização de dados obtidos a partir de plataformas orbitais, para suporte a projetos envolvendo recursos naturais. Obviamente, a gama de aplicações de dados de sensoriamento remoto é enorme, principalmente se explorados todos os sistemas de observação da Terra atualmente em operação. Com os satélites da nova geração, novas aplicações ou melhoramentos significativos em algumas das atuais aplicações certamente aparecerão. Os satélites de sensoriamento remoto estritamente nacionais deverão ser lançados a partir de 2003. Hoje, o país possui dois satélites operacionais de coleta de dados, cujos dados servem de entrada a modelos de previsão de tempo e clima. Esses satélites, entretanto, não são imageadores, como é o caso do Landsat, SPOT, ERS, Radarsat etc. O primeiro satélite imageador com parceria brasileira está sendo construído com a China (*China-Brazil Earth Resources Satellite – CBERS*) e será lançado ainda neste ano. Este satélite terá resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal muito semelhantes às do Landsat. A autonomia de se ter dados de sensoriamento remoto a partir de um sistema com participação nacional certamente permitirá uma distribuição mais interessante sob o ponto de vista econômico para o usuário, além de representar independência de sistemas que são controlados por agências externas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GDIM (The Global Disaster Information Network). Harnessing Information and Technology for Disaster Management. Disaster Information Task Force Report. Nov. 1997. 115p.
- Rao, U.R.; Chandrasekhar, M.G.; Jayaraman, V. Space & Agenda 21. Caring for the Planet Earth. Prism Books PVT Ltd., Bangalore, Índia, 1995. 229p.
- MMA (Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal) Detalhamento da Metodologia para Execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos Estados da Amazônia Legal. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Brasília, DF, 1997.43p
- Kilston, S. Capabilities of new remote sensing satellites to support sustainable development. In: International Symposium on Earth Observation System for Sustainable Development. Proceedings, vol. XXXII, Part I. Bangalore, Índia, 25-27 Feb. 1998, pp.183 – 190.
- EOS Science Plan. Ed. King, M., NASA Goddard Space Flight Center. EUA, 1999.

RESUMO

Este trabalho fornece uma breve introdução sobre os benefícios do uso da tecnologia espacial na administração de recursos naturais. Com o advento de satélites cada vez mais sofisticados, o conjunto de aplicações se torna cada vez maior. No Brasil, dados do satélite norte-americano Landsat estão disponíveis desde os anos 70. O seu uso foi explorado em muitas áreas, tais como geologia, oceanografia, estudos florestais, agricultura, estudos de água, planejamento regional e urbano, etc. Mais recentemente, há um interesse significativo em se entender melhor o impacto de mudanças no uso da terra/cobertura da terra no clima regional e global. Novos satélites, tais como o Terra (previamente denominado Sistema de Observação da Terra -EOS), a ser lançado este ano, e o europeu Envisat, a ser lançado no ano 2000, certamente trarão um novo conjunto de observações que melhorará nosso conhecimento sobre o funcionamento do sistema terrestre. Para países com extensão continental, como o Brasil, ou para estudos globais, o uso de tecnologia espacial é imprescindível e constitui uma das ferramentas mais importantes.

ABSTRACT

This paper gives a very brief introduction to some of the benefits of the use of space technology for natural resources management. With the advent of increasingly more sophisticated satellite systems, the range of applications becomes larger and larger. In Brazil, data from the North-American satellite Landsat is available since the 70's. Their use have been explored in many areas, such as geology, oceanography, vegetation, agriculture, water studies, regional and urban planning etc. More recently, there is a strong scientific interest to understand better the impact of land use/land cover change in the regional and global climate. New satellites, such as the Terra (previously named Earth Observing System - EOS), to be launched this year, and the European Envisat, to be launched in the year 2000, will certainly bring a new set of observations which will enhance our knowledge about the Earth System functioning. For large countries such as Brazil, or for global studies, the use of space technology is unavoidable and constitutes one of the major working tools.

A Autora

THELMA KRUG é presentemente coordenadora geral de Observação da Terra do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). É também membro do Comitê Científico do *Land Use/Cover Change (LUCC)* um projeto conjunto do *International Geosphere-Biosphere Program* e *International Human Dimensions Program*, sendo líder do Focus 2 do Projeto, voltado para estudos e modelagem da dinâmica da cobertura da Terra. Faz parte do Comitê Científico do LBA (Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera da Amazônia), assim como de seu Comitê Organizador. Até recentemente, atuava na gerência do Programa Institucional da Amazônia, onde os estudos sobre desflorestamento e queimadas são desenvolvidos. Obteve o seu PhD em estatística espacial em 1992, pela Universidade de Sheffield, Inglaterra.