

MFN= 007370
01 SID/SCD
02 6009
03 INPE-6009-PRE/2124
04 MET
05 S
06 as
10 Ferreira, Marlene Elias
10 Neiva, Eugenio J. F
12 Centro de aplicacao de satelites ambientais: perspectivas para
1990-1992 e atendimento ao setor de recursos hidricos
14 39-45
30 Climanalise
31 5
32 1
40 Pt
41 Pt
41 En
42 <E>
53 Simposio Brasileiro de Recursos Hidricos, 8, Foz do Iguacu, 23-30
nov. 1989. Anais p.371-380
58 CPTC
61 <PN>
64 jan. <1990>
68 PRE
76 METEOROLOGIA POR SATELITE
83 Em funcao do potencial dos dados de satelites para a gestao dos
recursos hidricos, sao discutidas as pesquisas e as aplicacoes
pertinentes ao setor, a luz do estado atual e do futuro dos
sistemas de satelites meteorologicos, considerando adicionalmente
a criacao do Centro de Aplicacao de Satelites Ambientais
(CSA/INPE) em 1988. Configura-se uma situacao propicia para que os
setores de hidrologia e recursos hidricos no Pais passem a tirar
efetivo proveito dos satelites meteorologicos. Para tanto, serao
necessarios esforcos de coordenacao, estabelecimento de
prioridades e direcionamento do fomento.
87 RECUSOS HIDRICOS
87 SATELITES METEOROLOGICOS
90 b
91 FDB-19961016
92 FDB-MLR

CONTRIBUIÇÃO REPRODUZIDA NA ÍNTEGRA

CENTRO DE APLICAÇÃO DE SATÉLITES AMBIENTAIS: PERSPECTIVAS PARA 1990-1992 E ATENDIMENTO AO SETOR DE RECURSOS HÍDRICOS (*)

Marlene Elias Ferreira
Eugênio J. F. Neiva

Centro de Aplicação de Satélites Ambientais - CSA
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE - São José dos Campos - SP

RESUMO

Em função do potencial dos dados de satélites para a gestão dos recursos hídricos, são discutidas as pesquisas e as aplicações pertinentes ao setor, à luz do estado atual e do futuro dos sistemas de satélites meteorológicos, considerando adicionalmente a criação do Centro de Aplicação de Satélites Ambientais (CSA/INPE) em 1988. Configura-se uma situação propícia para que os setores de hidrologia e recursos hídricos no País passem a tirar efetivo proveito dos satélites meteorológicos. Para tanto, serão necessários esforços de coordenação, estabelecimento de prioridades e direcionamento do fomento.

ABSTRACT

Based on the potential of satellite data as an aid for water resources management, we discuss research and applications of that sector in the light of present and future meteorological satellite systems as well as of the establishment of the Center for Environmental Satellite Applications (CSA/INPE) in 1988. The current situation is favorable to effective utilization of meteorological satellite information by the Brazilian hydrology sectors. To make best use of the information efforts in coordination of activities, establishment of priorities and directioning of aid will be necessary.

INTRODUÇÃO

O Centro de Aplicação de Satélites Ambientais (CSA) do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) integra o Sistema Nacional de Meteorologia, do qual também faz parte o setor de recursos hídricos, representado formalmente pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE/MME) e pelos usuários dessa área.

A criação do CSA em 1988, concomitante com o estabelecimento de outros órgãos de Meteorologia no INPE, reflete o esforço que vem sendo feito para modernizar a Meteorologia nacional pelo uso efetivo e oportuno de técnicas avançadas na prática operacional da previsão do tempo, especialmente aquelas fundamentadas em modelos dinâmico-numéricos, em dados de satélites ambientais (meteorológicos e oceanográficos) e em radares meteorológicos.

São as seguintes as áreas básicas de atuação do CSA:

- (a) dados e produtos de satélites ambientais;
- (b) missões espaciais de satélites ambientais;

(c) pesquisa em Meteorologia e Oceanografia por satélite e desenvolvimento tecnológico afim; e

(d) previsão de tempo imediata e de muito curto prazo (0 a 12 horas).

Com o caráter dual de operação e pesquisa & desenvolvimento, o principal objetivo do CSA é prover dados de satélites ambientais e produtos derivados e correlatos aos órgãos do Sistema Nacional de Meteorologia e demais usuários, para tanto executando as pertinentes atividades de pesquisa e desenvolvimento.

Pelo fato de serem os satélites meteorológicos de grande utilidade para a Hidrologia e áreas afins, o setor de recursos hídricos poderá incluir-se entre os importantes usuários do CSA. Assim sendo, discutem-se no presente trabalho algumas alternativas de atendimento às possíveis necessidades deste setor pelo CSA, tendo em vista o estado previsto dos sistemas de satélite e as perspectivas de atuação do Centro.

SATÉLITES METEOROLÓGICOS

Em 1960 foi colocado em órbita o primeiro satélite meteorológico – TIROS I – destinado a obter imagens de cobertura de nuvens. Nos anos que se seguiram, verificou-se uma notável evolução no programa de satélites meteorológicos, caracterizada

(*) Reproduzido de VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Foz do Iguaçu, 23 a 30 de novembro de 1989, Anais 1, págs. 371-380.

CONTRIBUIÇÃO REPRODUZIDA NA ÍNTEGRA

CENTRO DE APLICAÇÃO DE SATÉLITES AMBIENTAIS: PERSPECTIVAS PARA 1990-1992 E ATENDIMENTO AO SETOR DE RECURSOS HÍDRICOS (*)

Marlene Elías Ferreira
Eugênio J. F. Neiva

Centro de Aplicação de Satélites Ambientais - CSA
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE - São José dos Campos - SP

RESUMO

Em função do potencial dos dados de satélites para a gestão dos recursos hídricos, são discutidas as pesquisas e as aplicações pertinentes ao setor, à luz do estado atual e do futuro dos sistemas de satélites meteorológicos, considerando adicionalmente a criação do Centro de Aplicação de Satélites Ambientais (CSA/INPE) em 1988. Configura-se uma situação propícia para que os setores de hidrologia e recursos hídricos no País passem a tirar efetivo proveito dos satélites meteorológicos. Para tanto, serão necessários esforços de coordenação, estabelecimento de prioridades e direcionamento do fomento.

ABSTRACT

Based on the potential of satellite data as an aid for water resources management, we discuss research and applications of that sector in the light of present and future meteorological satellite systems as well as of the establishment of the Center for Environmental Satellite Applications (CSA/INPE) in 1988. The current situation is favorable to effective utilization of meteorological satellite information by the Brazilian hydrology sectors. To make best use of the information efforts in coordination of activities, establishment of priorities and directioning of aid will be necessary.

INTRODUÇÃO

O Centro de Aplicação de Satélites Ambientais (CSA) do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) integra o Sistema Nacional de Meteorologia, do qual também faz parte o setor de recursos hídricos, representado formalmente pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE/MME) e pelos usuários dessa área.

A criação do CSA em 1988, concomitante com o estabelecimento de outros órgãos de Meteorologia no INPE, reflete o esforço que vem sendo feito para modernizar a Meteorologia nacional pelo uso efetivo e oportuno de técnicas avançadas na prática operacional da previsão do tempo, especialmente aquelas fundamentadas em modelos dinâmico-numéricos, em dados de satélites ambientais (meteorológicos e oceanográficos) e em radares meteorológicos.

São as seguintes as áreas básicas de atuação do CSA:

- (a) dados e produtos de satélites ambientais;
- (b) missões espaciais de satélites ambientais;

- (c) pesquisa em Meteorologia e Oceanografia por satélite e desenvolvimento tecnológico afim; e
- (d) previsão de tempo imediata e de muito curto prazo (0 a 12 horas).

Com o caráter dual de operação e pesquisa & desenvolvimento, o principal objetivo do CSA é prover dados de satélites ambientais e produtos derivados e correlatos aos órgãos do Sistema Nacional de Meteorologia e demais usuários, para tanto executando as pertinentes atividades de pesquisa e desenvolvimento.

Pelo fato de serem os satélites meteorológicos de grande utilidade para a Hidrologia e áreas afins, o setor de recursos hídricos poderá incluir-se entre os importantes usuários do CSA. Assim sendo, discutem-se no presente trabalho algumas alternativas de atendimento às possíveis necessidades deste setor pelo CSA, tendo em vista o estado previsto dos sistemas de satélite e as perspectivas de atuação do Centro.

SATÉLITES METEOROLÓGICOS

Em 1960 foi colocado em órbita o primeiro satélite meteorológico — TIROS I — destinado a obter imagens de cobertura de nuvens. Nos anos que se seguiram, verificou-se uma notável evolução no programa de satélites meteorológicos, caracterizada

(*) Reproduzido de VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Foz do Iguaçu, 23 a 30 de novembro de 1989, Anais 1, págs. 371-380.

pela diversificação dos serviços e dos tipos de órbita, refletindo uma preocupação cada vez maior em obter dados para inferências quantitativas.

Nesse contexto, têm sido utilizadas a órbita polar heliossíncrona e a geostacionária. A primeira promove cobertura global a cada 12 horas e permite a obtenção de imagens sempre no mesmo horário local e, portanto, com a mesma iluminação solar. Em órbita geostacionária, um satélite permanece parado em relação à Terra, possibilitando a vigilância contínua de cerca de um terço do globo terrestre. A altitude dos satélites heliossíncronos varia, tipicamente, de 600 a 1600 km, enquanto os geostacionários encontram-se a aproximadamente 36000 km de altura sobre o equador.

Dentre esses satélites, parte do programa de Vigilância Mundial do Tempo, da Organização Meteorológica Mundial, são de particular relevância para o Brasil os geostacionários das séries GOES (EUA) e METEOSAT (Agência Espacial Européia), e os heliossíncronos da série TIROS-N/NOAA (EUA).

A seguir são apresentadas algumas informações sobre esses satélites. Dados mais completos podem ser encontrados em outros trabalhos (e.g., Smith, 1985; Moura e Ferreira, 1986; Mackenzie and Komajda, 1988; CSA Informa nº 3).

Satélites geostacionários: séries GOES e METEOSAT

Em virtude de seu potencial de vigilância permanente de vastas extensões da Terra, as principais missões dos satélites geostacionários são a de acompanhar a evolução de fenômenos meteorológicos e a de monitorar nuvens e registrar seu deslocamento, com vistas e estimar campos de vento e precipitação pluviométrica.

Tanto o GOES como o METEOSAT obtêm imagens multiespectrais de alta resolução espacial do disco da Terra a cada meia hora. Incluem o WEFAX (WEATHER FACsimile), utilizado para retransmitir cartas e gráficos meteorológicos e imagens de baixa resolução de várias procedências, e um sistema de retransmissão de dados coletados por estações automáticas (as Plataformas de Coletas de Dados - PCDs, comentadas adiante).

O GOES-Leste é posicionado para monitorar os continentes americanos e oceanos adjacentes. Em sua posição normal (75°W), o continente sul-americano encontra-se no centro do disco, favorecendo a visualização de fenômenos sobre o Brasil. Por razões de ordem técnica, o GOES-Leste é, em certas ocasiões, deslocado para oeste. Isto ocorreu em 1984 e outra vez em fevereiro de 1989, quando o satélite foi deslocado para o Pacífico (108°W). Ele deverá permanecer entre 108°W e 98°W até o lançamento do próximo satélite, da série GOES-Next, previsto para julho de 1990.

Os satélites GOES-Next trazem inovações que exigirão modificações no sistema de recepção, pois os dados serão transmitidos em novo formato (GVAR: Goes-VARIABLE). Serão obtidas imagens em 5 canais espectrais: um no visível (VIS) e quatro no infravermelho (IV) termal (3,9; 6,7; 10,7; e 12 microns), com resolução espacial de 1, 8, 4, 4 e 4 km, respectivamente (McKenzie and Komajda, 1988).

Nota-se que, exceto pelo canal em 3,9 microns, as outras imagens com resolução de 1km no VIS e de 8km no IV também são disponíveis no atual modo de transmissão (AAA), que não tem sido plenamente utilizado no País.

A cobertura geográfica promovida pelo METEOSAT, posicionado na longitude 0, inclui o Oceano Atlântico e a costa leste do Brasil. O (novo) METEOSAT-4, lançado em março, deverá tornar-se operacional em outubro de 1989. O imageamento será realizado em 4 canais espectrais (dois no VIS e dois no IV), com resolução espacial de 2,5 (VIS) e 5km (IV).

Satélites heliossíncronos: série TIROS-N/NOAA

Os satélites desta série são particularmente revelantes por realizar sondagens atmosféricas para inferência de perfis verticais de temperatura e de umidade em caráter rotineiro para o globo todo (as sondagens pelo GOES atendem apenas os programas dos EUA). Além disto, o imageamento em cinco canais (um no VIS e quatro no IV) é sempre promovido com 1km de resolução.

Os TIROS-N/NOAA operam em pares, com órbitas em quadratura, para garantir cobertura de uma mesma região geográfica a cada 6 horas. A atual configuração instrumental deverá ser mantida até 1992, quando se prevê a implementação de aperfeiçoamentos como, por exemplo, a introdução de canais adicionais em microondas, para sondagem atmosférica mesmo em presença de nuvens. Note-se que a colocação no espaço de equipamentos pesados (caso dos receptores passivos de microondas e dos radares) é viabilizada, do ponto de vista de custo, pela baixa altitude dos satélites dessa família.

Plataformas de coleta de dados

Tanto os satélites geostacionários como os heliossíncronos americanos são capazes de retransmitir os sinais de PCDs situadas na superfície terrestre, em bacias oceânicas, navios, aviões, etc.

As PCDs podem ser muito úteis para a hidrologia, ao possibilitar medições em bacias de difícil acesso a custos aceitáveis, se comparados com os de operação de estações que exigem a intervenção humana. Sua utilização pode ser ainda mais viável se combinada com estações convencionais e outras, com

telemetria local ou gravação de dados nas próprias PCDs.

Também as missões brasileiras de satélites (a Missão Espacial Completa Brasileira-MECB e a Missão Sino-Brasileira de Satélite de Recursos da Terra - CBERS, em inglês) contemplam a retransmissão de sinais de PCDs.

Assim, essa tecnologia deve ter seu uso ampliado e continuidade garantida, sobretudo em decorrência de seu baixo custo relativo.

Missões espaciais futuras

Diversos países como os EUA, a URSS, o Japão, o Canadá e os da Europa têm planos bem definidos e ambiciosos com respeito às suas missões espaciais e programas científicos correlatos para a próxima década. Destaca-se o denominado Sistema de Observações da Terra (Earth Observing System-EOS), das agências norte-americanas NASA e NOAA.

O EOS é um dos componentes observacionais concebidos para apoiar um esforço internacional de pesquisas na busca de elementos para que a Terra seja compreendida como um sistema de escala global integrado e interativo.

Será implementado, em grande parte, por meio de plataformas de órbita polar de grande porte, que abrigarão instrumentos de naturezas e finalidades diversas (NASA, 1988).

Tal sistema encontra-se no contexto da Missão ao Planeta Terra, que, a exemplo de missões a outros planetas, contará também com plataformas geoestacionárias, de particular interesse para hidrologia, com a Missão de Medição de Chuvas Tropicais (Tropical Rainfall Measuring Mission - TRMM), classificada como uma "sonda espacial" (space probe).

Com base em experimentos anteriores, o satélite TRMM deverá levar a bordo três instrumentos principais: um radar meteorológico, um radiômetro (passivo) em microondas e um imageador (VIS e IV) análogo aos utilizados com os TIROS-N/ NOAA. Assim, o TRMM proporcionará meios, até o momento não cogitados, para validar e calibrar algoritmos de estimativa de precipitação fundamentados em imagens obtidas pelos satélites meteorológicos atuais. Com lançamento previsto para 1994 e vida útil estimada em três anos, o TRMM terá órbita circular a uma altura de 350 km e inclinação de 35 graus em relação ao plano equatorial (Simpson, 1988).

ESTRATÉGIA DE IMPLANTAÇÃO E ATIVIDADES DO CSA

Com uma tradição de quinze anos no setor dos satélites ambientais, por ocasião da criação do CSA o INPE já contava com pessoal qualificado e acumulara ponderável experiência em meteorologia por satélites e áreas afins. Destacam-se, entre estas, a recepção e o processamento de sinais de satélites, a interpretação de imagens e, mais relevantes, as técnicas digitais para a inferência quantitativa de parâmetros ambientais.

Planeja-se implantar o Centro em duas fases. A inicial concentra-se na revitalização e expansão das existentes capacidades de recepção, processamento, arquivo e disseminação dos sinais. Nesse período, também estarão sendo objeto de reavaliação e reorientação os projetos de pesquisa aplicada que têm por finalidade o emprego de dados de satélites meteorológicos.

Na segunda fase (1990-1992), de consolidação das estruturas de equipamentos e de organização, deverão ser complementadas as instalações, com o objetivo de garantir a operacionalidade dos sistemas, por redundância e reposição imediata. Tem-se como propósito, no final desta etapa, receber os sinais de todos os satélites ambientais de interesse nacional, aí incluídos os meteorológicos e oceanográficos operacionais, bem como as missões científicas eventuais.

Como parte do processo de planejamento, foi realizado o primeiro de uma série de encontros anuais de usuários de satélites ambientais (INPE, São José dos Campos, novembro de 1988), estando o segundo programado para setembro de 1989. Esses eventos têm por metas bem identificar as necessidades dos usuários do Centro e obter elementos para a atribuição de prioridades nas áreas de operação e pesquisa & desenvolvimento.

Nos referidos encontros, prestam-se informações sobre o estado dos sistemas de satélites e sobre trabalhos em curso no CSA. Por meio de discussões entre grupos de usuários, busca-se colher elementos para manter as atividades do CSA em sintonia com a efetiva demanda. Os resultados do primeiro encontro já se traduziram em algumas medidas, sumariadas a seguir.

Recepção de satélites

Considerando as estações de recepção dos satélites TIROS-N/NOAA e GOES (no modo A), previamente existentes, bem como a instalação de um novo computador (CDC-CYBER 830 NOS/VE), os planos do CSA incluem:

a) recepção de todas as imagens dos satélites GOES (AAA) e METEOSAT;

b) distribuição de imagens digitais pela rede de comutação de pacotes RENPAC, EMBRATEL; e

c) gravação das imagens em fita de alta densidade (videoteipes, arquivo histórico).

Para os satélites TIROS-N/NOAA, está sendo realizado um recondiçãoamento da estação (antena e circuitos associados). A geração de alguns produtos derivados é feita em SITIM-150 (Sistema Interativo de Tratamento de Imagens, desenvolvido pelo INPE, baseado em microcomputador PC-AT 286/287). Está programada para novembro de 1989 a substituição da estação completa (com a atual ficando em reserva) por outra integrada possivelmente por um MicroVAX ou máquina similar.

São também recebidas as imagens de baixa resolução e os produtos, em forma gráfica, gerados pelo Centro Meteorológico Nacional dos Estados Unidos (NMC), transmitidos pelo sistema WEFAX. Uma seleção dessas imagens é retransmitida aos usuários via STM-400, antes denominado sistema "Cirandão", da EMBRATEL.

Disseminação

A divulgação das imagens e produtos do CSA é feita de várias maneiras: fotografias em papel, fitas de computador (CCT), facsímile, STM-400 e transmissão digital via RENPAC.

Enquanto as fotografias e as fitas CCT podem ser adequadas às atividades de pesquisa e estudos a posteriori, apenas o STM-400 e RENPAC atendem com presteza os setores operacionais, que normalmente têm urgência dos dados.

Para receber dados via STM-400, basta o usuário dispor de um PC-compatível e ser assinante do sistema. O custo é proporcional ao uso e da mesma ordem de grandeza de um telefonema comum.

A recepção de imagens via RENPAC far-se-á por meio de rede, emulando-se por exemplo um micro como terminal do Cyber e empregado-se o pacote de telecomunicações X-25. A rede operará inicialmente em 2400 bps, podendo-se elevar esta taxa até 9600bps, limite oferecido pela EMBRATEL.

Centro de PCD

Os sinais de PCD retransmitidos pelos satélites GOES e TIROS-N são repassados aos usuários por meio de telex.

O sistema de recepção está sendo ampliado para funcionar como um centro de coleta, disseminação e arquivo de PCD, em que os sinais recebidos são transformados em parâmetros físicos e depositados em um banco "on line", a ser acessado pelos usuários. O esquema de rápida disseminação apenas será acionado pelo CSA em casos de urgência por parte dos usuários (e. g., monitoramento de condições ambientais para a defesa civil, situações de alcance de cota máxima em represas, etc.).

O centro em questão se propõe a operar com todos os satélites que retransmitam sinais de PCD, inclusive aqueles que fazem parte das missões espaciais brasileiras (MECB e CBERS).

Desenvolvimento e instalações

Atualmente, os esforços de desenvolvimento tecnológico no CSA concentram-se na complementação da recepção de sinais dos satélites julgados de interesse, na integração destes sinais nos computadores do sistema e na disseminação de imagens e produtos.

Como preparativos para atender à futura programação, destacam-se os desenvolvimentos para que sejam recebidos os seguintes satélites:

a) METEOSAT-4 (outubro, 1989); b) GOES-Next (julho, 1990); c) ERS-1, oceanográfico (1991); d) NOAA-K, nova versão da série (1992).

No que tange à disseminação, busca-se aprimorar os métodos em uso, enriquecendo-os, por exemplo, com técnicas de compactação de dados e otimização de rotinas, com a finalidade de acelerar as transmissões e reduzir custos.

Pesquisa aplicada

O plano atual do CSA contempla duas linhas de pesquisa aplicada. A primeira é voltada para o desenvolvimento de metodologias para a inferência de parâmetros ambientais (vento, perfis de temperatura e de umidade, temperatura da superfície do mar, índices de vegetação, etc.), a serem implementadas operacionalmente.

A segunda trata das técnicas de previsão meteorológica de muito curto prazo (até 12 horas), com uso integrado de radar e observações convencionais.

Em síntese, o CSA programa-se para, ao final de sua implantação (1990-1992), estar apto a apoiar e participar das pesquisas e operações ligadas à hidrologia, naquilo que dependa de satélites meteorológicos.

APLICAÇÕES E PRODUTOS

Os satélites meteorológicos colocam-se como uma alternativa promissora para a obtenção de dados de relevância para o setor de recursos hídricos, o que se legitima diante das dimensões continentais do Brasil e da precariedade da rede convencional de observações, sobretudo nas regiões norte e central do País. A seguir são apresentadas possíveis aplicações de satélites que podem ser de utilidade no presente contexto, sempre tendo em mente que o sucesso das técnicas de sensoriamento remoto ainda depende das observações convencionais, úteis não só para fins de validação e calibração, mas também como complementação, sobretudo quando a abordagem for quantitativa.

Estimativa de precipitação

Diversas técnicas de natureza empírica, com graus variados de complexidade, já foram concebidas para estimar chuva utilizando imagens de cobertura de nuvens no VIS e no IV (Barret and Martin, 1981; Wu et al., 1985; Martin and Howland, 1986; Adler and Negri, 1988; Simpson, 1988; França, 1989).

O estado da arte indica que, em geral, o sucesso desses algoritmos varia de acordo com a sua finalidade e com os tipos de chuva que se deseja detectar, sendo possível distinguir, com alta confiabilidade, situações de chuva e não-chuva. Entretanto, a quantificação da precipitação ainda apresenta dificuldades, havendo necessidade de estudos mais detalhados e de técnicas adequadas de calibração.

A grande maioria dos modelos de previsão de vazão emprega a precipitação média na bacia como dado de entrada. Portanto, o parâmetro de interesse é chuva em área; neste contexto os satélites podem alcançar maior sucesso do que quando se desejam valores pontuais. Estudos nessa direção estão sendo feitos no INPE, porém ainda não se dispõe de resultados conclusivos. De acordo com Strubing e Schultz (1983), outra alternativa promissora é utilizar dados de satélite (radiâncias) para determinar vazão fluvial diretamente, em vez de estimar chuva como passo intermediário.

Os radares meteorológicos são instrumentos especialmente úteis para a calibração das técnicas em questão. Como mostrado por Bellon et al. (1980), é possível ampliar a área de atuação do radar para cerca de 2000 x 2000 km pela utilização simultânea de imagens GOES e dados de radar na área considerada, e de métodos específicos de calibração.

A importância dos radares no contexto da pluviometria por satélite levou à concepção do TRMM que, conforme já discutido, propiciará condições excepcionais para que os atuais algoritmos de estimativa de chuva sejam melhor estudados e adequadamente calibrados.

Embora se constate a existência de trabalhos sobre estimativa de precipitação por satélite realizados no País (Conforte et al. 1986; Moraes e Lascio, 1987; Alves, 1988; França, 1989), a produção nesta área ainda é limitada. Isto em parte se deve à dificuldade de obter conjuntos adequados de observações que incluam, além de imagens digitais, dados simultâneos auxiliares, tais como os de radar, de radiossondagem, de pluviógrafos e de canais em microondas.

Note-se também que, no Brasil, ainda estão por ser melhor estabelecidos os requisitos hidrológicos para estimativa de precipitação por meio de satélite. Para tanto, é preciso considerar, conforme discutido por Ferreira (1987), as necessidades dos setores da hidrologia e dos recursos hídricos de acordo com as escalas espacial e temporal das bacias e dos fenômenos responsáveis pela chuva.

Índice de vegetação, radiação solar e evapotranspiração.

Os satélites meteorológicos podem também ser úteis para o monitoramento da umidade do solo, das regiões inundáveis e da cobertura vegetal, assim como de outras características da superfície terrestre revelantes para a hidrologia (Matson and Parmenter-Holt, 1985; Solomon and Harvey, 1986), colocando-se como alternativa ou complemento em relação aos satélites de recursos naturais, tais como o LANDSAT e o SPOT (Molion, 1983).

Algoritmos para o monitoramento de cobertura vegetal fundamentados no conceito de índice de vegetação e no emprego de imagens TIROS-N/NOAA já foram desenvolvidos e testados para o Brasil (Figueiredo, 1989).

Além da precipitação, outros parâmetros igualmente importantes para estudos e monitoramento do balanço hídrico de bacias podem ser estimados com imagens de satélite. É o caso da radiação solar e da evapotranspiração. Embora os trabalhos referentes à evapotranspiração sejam promissores (Serafini, 1987), ainda há necessidade de maior aprofundamento nesse campo.

Modelos para estimativa de radiação solar utilizando imagens GOES foram elaborados e testados, com sucesso, para algumas localidades do País (Moraes, 1986 e Arai e Moraes, 1988; Moraes et al., 1988).

Tratando-se das aplicações citadas, ou de outras concebidas neste contexto, os algoritmos ainda precisam em muitos casos ser submetidos a avaliações, com vistas em determinar seu desempenho em função das regiões climáticas do País e épocas do ano.

Outros produtos

Naturalmente, produtos de satélites tais como imagens de cobertura de nuvens, estimativas de vento e perfis de temperatura e de umidade, para citar alguns, contribuem para aumentar a compreensão dos fenômenos atmosféricos e para a prática operacional da previsão de tempo e de clima. Desta forma, é de esperar que estes produtos também auxiliem na solução de problemas encontrados na área de hidrometeorologia, tais como o da determinação da precipitação máxima provável.

A disponibilidade de arquivos históricos de imagens digitais no País abririam novas perspectivas. Além de permitir a escolha de situações representativas dos fenômenos que se deseja estudar, eles são indispensáveis para a realização de pesquisa retrospectiva e para estudos climáticos e monitoramento dos efeitos das atividades antropogênicas.

A previsão imediata (zero a 12 horas), que faz uso intenso de dados de satélites e radares, integrados em ambientes computacionais equipados com estações de trabalho, é outra atividade que pode contribuir diretamente para a otimização da gestão dos recursos hídricos.

CONCLUSÕES

O País confronta-se com a necessidade de dispor de informações confiáveis e oportunas para otimizar o planejamento e a gestão de recursos hídricos e minimizar o impacto ambiental de novos empreendimentos.

É opinião dos autores que o setor não tem tido oportunidade de tirar partido das potencialidades dos satélites meteorológicos, principalmente no que se refere às técnicas quantitativas e do aproveitamento dos dados de imagens em modelos numéricos.

Tais dados podem ser particularmente relevantes nos locais e ocasiões em que seja importante a gestão integrada da água para aplicações múltiplas, como agricultura, navegação fluvial, indústria, consumo humano, geração de energia, porque o satélite pode proporcionar visão abrangente e contínua, valendo reiterar que as medições "in situ" continuarão a ser indispensáveis.

É forçoso reconhecer, contudo, que ainda há carência de pesquisas e desenvolvimentos, bem como de operacionalização de resultados.

Paralelamente a essa visão, registra-se que os sistemas de satélites terão considerável evolução na próxima década e anos a seguir. Admitindo que a implantação do CSA tenha o sucesso pretendido, parece lícito esperar que o setor de recursos hídricos

tenha à disposição uma abundância de elementos para pesquisa e operação. Basta, para tanto, uma clara manifestação de interesse, em tempo hábil.

Poder-se-á, em seguida, planejar campanhas e experimentos de campo que proporcionem bases de dados mais completas e confiáveis, incluindo parâmetros coletados da superfície e por satélite, para apoio à pesquisa.

O esforço de pesquisa, desenvolvimento e aplicação poderá, enfim, ser multiplicado pela coordenação e pelo estabelecimento de prioridades, por via do fomento direcionado para as áreas de maior importância.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADLER, R.F.; NEGRI, A.J. A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall. *Journal of Applied Meteorology*, 27(1):30-51, Jan. 1988.
- ARAI, N.; MORAES, E.C. Radiação solar: comparação entre dados de radiação por satélite e estações do INEMET. INPE; São José dos Campos, out. 1988. (INPE-4723-RPE/1400).
- ALVES, M.A.S. Diagnóstico de precipitação via satélite: uma avaliação da técnica biespectral. Universidade de São Paulo, 1988. Tese de Mestrado em Meteorologia.
- BARRET, E.C.; MARTIN, D.W. *The use of Satellite Data in Rainfall Monitoring*. Academic Press, 1981, 340 p.
- CSA INFORMA Nº 3 (MAIO 89). INPE, São José dos Campos.
- CONFORTE, J.C.; ALVES, M.A.S.; ALMEIDA, F.C.; MASSAMBANI, O. Processamento digital de imagens infravermelho e visível do satélite GOES e sua integração com os dados de radar meteorológico. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., REUNIÃO PLENÁRIA SELPER, 5., Gramado-RS, ago. 10-15, *Anais*, 1986, v. 1, p. 485-493.
- FERREIRA, M.E. Possíveis aplicações de satélites meteorológicos na área de recursos hídricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 7., e SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS, 3., Salvador-BA, nov. 8-13, 1987, *Anais* 1987, v.1, p.206.

- FIGUEIREDO, D.C. Sistema de obtenção de índice de vegetação para a América do Sul por processamento digital de imagens NOAA/AVHRR. INPE, São José dos Campos. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, a ser apresentada em 1989.
- FRANÇA, G.B. Determinação de área de chuva e não-chuva na imagem do satélite (GOES) utilizando análise de agrupamento. INPE, São José dos Campos, jan. 1989. Dissertação de Mestrado em Análise de Sistema e Aplicações. (INPE-4790-TDL/354).
- MARTIN, D.W.; HOWLAND, M.R. Grid History - A geostationary satellite technique for estimating daily rainfall in the tropics. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25:184-195, Feb. 1986.
- MATSON, M.; PARMENTER-HOLT, F. Hydrologic and Land Sciences Applications of NOAA Polar Orbiting Satellite Data. Prepared for NOAA by The Walter A. Bohan Company. Jan. 1985, 20p.
- MCKENZIE, K.; KOMAJDA, R.J. (Ed.) The GVAR Users Compendium, v. 1. NOAA Technical Memorandum NESDIS 21. Washington, D. C., May 1988.
- MOLION, L.C.B. O uso de satélites meteorológicos em hidrologia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 5., Blumenau-SC, nov. 13-18, 1983, Anais, 1983, v. 1, p. 241-254.
- MORAES, E.C. Comparações entre métodos de estimativa de radiação solar: satélite e convencional. INPE, São José dos Campos, nov. 1986. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. (INPE-4025-TDL/242).
- MORAES, E.C.; ARAI, N.; ALMEIDA, F.C. Avaliação da atenuação por nuvens na estimativa de radiação solar incidente na superfície terrestre através de satélite geoestacionário. *Ciência e Cultura*, 40(10): 1012-1014, out. 1988.
- MORAES, J.C.; LASCIO, M.A. Um estudo comparativo entre dois métodos de estimativa de precipitação por meio de satélite meteorológico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. 7., SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE HIDRÁULICAS E RECURSOS HÍDRICOS, 3., Salvador-BA, nov. 8-13, 1987, Anais 1987, v.2, p. 71-77.
- NASA Earth science and Applications-Division-The program and plans for FY 1988-1989-1990. NASA, Washington, Sept. 1988. 133 p.
- MOURA, A.D.; FERREIRA, M. E. Meteorologia, as perspectivas de plena capacitação. *Revista Brasileira de Tecnologia (MCT/CNPq)*, 18(4):15-25, julho 1987.
- SERAFINI, Y.V. Estimation of the evapotranspiration using surface and satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 8(10): 1547-11562, 1987.
- SIMPSON, J. (Ed.) TRMM - A Satellite Mission to Measure Rainfall (Report of the Science Steering Group). NASA/GSFC, Aug. 1988. 94 P.
- SMITH, W.L. Satellites. In: HOUGHTON, D.D. (ed.), *Handbook of Applied Meteorology*. John Wiley, N. Y., 1985. p. 380-472.
- SOLOMON, S.I. Use of GOES digital data to estimate land use land-cover for hydrologic applications. In: *Hydrologic Applications of Space Technology, COCOA BEACH WORKSHOP, FLA, Aug. 1985. Proceedings. IAHS Publ. 145, 1986.*
- WU, R.; WEINMAN, J.A.; CHIN, R.T. Determination of rainfall rates from GOES satellite imagens by a pattern recognition technique. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2:3124-330, Sept. 1985.