

HIDROLOGIA E SATÉLITES AMBIENTAIS: ASPECTOS OPERACIONAIS NO BRASIL

Marlene Elias Ferreira

Universidade do Vale do Paraíba - UNIVAP
Praça Cândido Dias Castejón, 116
Fax: (0123) 22 26 68 ; BitNet: Marlene@UNIVAP.BR
12243-720 São José dos Campos SP

Roberto Vicente Calheiros

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515
Telefone: (0123) 41 89 77 - Fax: (123) 21 87 43
12227-010 São José dos Campos SP

INTRODUÇÃO

Ao longo das quatro últimas décadas, constata-se o surgimento de um número crescente de programas de satélites artificiais voltados para diversas áreas das Geociências, trazendo em seu bojo frutos da evolução tecnológica e científica. A questão do impacto ambiental em escala regional e global gerou, em tempos mais recentes, a necessidade de se estabelecer um conceito compatível para esses satélites. *Satélite ambiental* passou a ser entendido como "qualquer satélite artificial que forneça dados do planeta Terra que sejam de benefício para a Meteorologia, a Hidrologia, a Climatologia, a Oceanografia e para aquelas atividades relacionadas aos estudos climáticos e mudanças globais". Entre os que são de interesse para o Brasil, no âmbito da Hidrologia, destacam-se: as *séries meteorológicas* - que integram o Sub-sistema Espacial do Sistema de Observação Global, da WMO (World Meteorological Organization), e as *séries de recursos naturais* (WMO, 1991).

SATÉLITES METEOROLÓGICOS E DE RECURSOS NATURAIS

As séries meteorológicas, que se caracterizam pelo cunho genuinamente operacional, têm programação garantida até o ano 2000. Seu acesso em tempo real tem sido gratuito. Nessa categoria se enquadram a série *TIROS-N* (TIROS Improved Operational Satellite-N), satélites de órbita polar que operam em pares e fornecem observações quatro vezes ao dia, e o programa *GOES* (Geostationary Operational Environmental Satellite), geoestacionário, ambos de responsabilidade da agência americana NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) (Rao, 1990); e, o programa *Meteosat* (Meteorological Satellite), também geoestacionário, de responsabilidade da agência europeia Eumetsat (European Meteorological Satellites) (WMO, 1993; WMO, 1994). Destaca-se a implementação recente da série GOES I-M, compreendendo 5 unidades da nova geração de satélites geoestacionários operacionais ambientais (Menzel and Purdom, 1994), inaugurada com o lançamento do GOES-I (GOES-8), em abril de 1994, seguido pelo do GOES-J (GOES-9) em maio de 1995, que deverão se situar em 75°W e 140°W, respectivamente.

Já entre os satélites de recursos naturais, em geral de órbita polar, os mais tradicionais são de cunho comercial e, embora não haja compromisso com a operacionalidade, têm apresentado um razoável grau de continuidade. Os Landsat (Land Remote-Sensing Satellite), com ciclo de repetição de 14 dias, operam desde 1972, produzindo séries valiosas de informações. Em vista dos percalços desencadeados pelo fracasso do lançamento do Landsat-6 em 1993, o desenvolvimento do Landsat-7 passou para a responsabilidade da NASA (National Aeronautics

and Space Administration), com conclusão prevista para 1997. Por sua vez, a série SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre), da França, com ciclo de repetição de cerca de 26 dias, foi implementada em 1986 e tem continuidade garantida até o final desta década (WMO, 1994).

Inúmeros outros satélites de cunho ambiental podem ser adicionados a essa lista. De especial relevância são as plataformas espaciais integrantes do IEOS (International Earth Observing System), algumas já em operação, como o ERS-1 (Earth Remote Sensing-1), da agência européia ESA (European Space Agency), e o JERS-1 (Japanese Earth Remote Sensing Satellite-1), do Japão. No Brasil, o acesso aos dados desses satélites tem sido geralmente muito limitado. Lançamentos programados ainda para esta década incluem o Radarsat, do Canadá, e o TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) - uma cooperação da NASA com o Japão, além de várias outras iniciativas no âmbito do IEOS. O EOS/NASA propriamente dito deverá ter início no ano 2000 (Asrar and Dokken, 1993).

REQUISITOS HIDROLÓGICOS

Ao se analisar os programas espaciais internacionais, constata-se que, o tanto quanto seja do conhecimento dos autores, nunca existiram missões centradas especificamente nos problemas observacionais da Hidrologia e da Gestão dos Recursos Hídricos, exceto em certas configurações compartilhadas. Entrementes, a comunidade hidrológica procurou tirar o proveito possível dos dados assim obtidos, muitas vezes utilizando diferentes sistemas e/ou sensores. Como resultado desses esforços, ganhou-se um conhecimento razoavelmente abrangente sobre a utilidade e as limitações das informações espaciais.

De acordo com Barrett et al (1990), entre as importantes áreas na Hidrologia que podem se beneficiar dos satélites ambientais se incluem: estimativa e monitoramento de precipitação e de evapotranspiração; estimativa de umidade do solo (especialmente para regiões com pouca ou nenhuma vegetação); inventário e monitoramento de águas superficiais; padrões e taxas de sedimentação em reservatórios e deposição em rios; mapeamento e acessibilidade das águas subterrâneas; monitoramento de poluição da água; previsão hidrológica; e, coleta e disseminação de dados obtidos por sensores *in situ*. As características físicas da bacia hidrográfica constituem outro tópico de relevância em tal contexto.

Em tempos mais recentes, a comunidade hidrológica internacional envidou esforços coordenados com a finalidade de estabelecer de modo criterioso os requisitos básicos da Hidrologia operacional, procurando identificar aqueles passíveis de serem atendidos pelos satélites ambientais. A título de ilustração, a Tabela 1, adaptada de Barret et al (1990), apresenta um conjunto desses requisitos, onde é destacada a viabilidade de atendimento de cada um deles. Observa-se que alguns requisitos podem ser satisfeitos pelos atuais satélites e outros por missões ambientais já programadas. Em certos casos, muito esforço ainda terá de ser feito para que a tecnologia espacial possa comprovar sua efetiva utilidade operacional. Segundo Kuittinen (1992), tais requisitos são menos estritos do que os estabelecidos na Reunião de Peritos sobre Requisitos de Serviços de Satélites da OMM, realizada em 1985, que resultou numa lista bastante completa e, portanto, muito longa para ser incluída no presente trabalho.

A diversidade de parâmetros a serem monitorados, com suas exigências peculiares, leva a concluir que conceber uma missão espacial de cunho estritamente hidrológico, de modo que o conjunto das necessidades seja atendido *in totum*, constitui um grande desafio. Porém, o assunto merece reflexão. Na reunião de Peritos sobre Satélites, em 1991, o Diretor do Departamento de Hidrologia e Recursos Hídricos e o Presidente da Comissão de Hidrologia da WMO expressaram a preocupação dos hidrólogos com o fato de os atuais sistemas de satélites não estarem

preenchendo adequadamente suas necessidades. Foi também enfatizada a diminuição da importância relativa dos serviços hidrológicos convencionais em âmbito universal com o que se realça a importância dos satélites. Outrossim, foi manifestada a percepção de que os requisitos hidrológicos não estavam recebendo atenção suficiente (WMO, 1991).

SITUAÇÃO ATUAL NO PAÍS

Na busca dos benefícios que poderiam advir dos satélites ambientais, várias instituições de ensino e de pesquisa no País se empenharam em atividades que utilizam dados espaciais para fins hidrológicos. Isto a despeito das dificuldades encontradas, que certamente são bem mais básicas do que as enfrentadas em âmbito internacional. É oportuno lembrar que no Workshop sobre Aplicações de Satélites Ambientais, realizado no âmbito do IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e V Simpósio Luso-Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos (Ferreira et al, 1991), a falta de especificidade das missões espaciais não foi um motivo especial de preocupações e sim outras dificuldades como as referentes ao acesso a dados, principalmente em tempo quase-real. Isto dificulta em muito a transferência de metodologias já testadas para o setor operacional. Entre vários outros aspectos tratados, foi enfatizada a necessidade de treinamento de pessoal e de um arquivo de dados digitais de fácil acesso.

O rompimento dessas restrições é fundamental para fomentar uma utilização mais intensa dos dados de satélite, tanto do ponto de vista acadêmico como operacional, mesmo que seja em caráter experimental. Isto certamente é possível nas condições atuais e em muito auxiliaria na efetiva avaliação e emprego mais abrangente das tecnologias atuais. A experiência assim conquistada seria útil para fornecer um melhor embasamento para a especificação de futuras missões espaciais.

Apenas como exemplo, os novos satélites GOES trazem inovações que exigem maior atenção. O *modus operandi* do sistema, embora já divulgado (Menzel and Purdom, 1994), ainda não foi plenamente implementado e isto traz algumas preocupações. Tudo indica que haverá situações em que o Hemisfério Norte será privilegiado em detrimento do Hemisfério Sul, garantindo-se cobertura apenas em horários sinóticos, conforme os acordos internacionais. Se isto vier a ocorrer, os programas nacionais que dependerem da obtenção freqüente de imagens (e.g., a cada meia hora), certamente serão prejudicados.

Por outro lado, os novos GOES são configurados para a obtenção de imagens no modo varredura rápida (e.g., a cada 5 minutos). Essa capacidade vem se mostrando cada vez mais importante, especialmente para aplicações de relevância para a Hidrologia, como a estimativa da chuva acumulada e a previsão imediata da iniciação, evolução e deslocamento de tempestades que podem provocar enchentes repentinas, cujo desenvolvimento pioneiro baseou-se em imagens de alta resolução temporal providas por satélites geoestacionários. A importância do imageamento freqüente para tal tipo de previsão foi recentemente reafirmada por Weaver et al (1994).

Durante os procedimentos de previsão de tempo do Instituto de Pesquisas Meteorológicas (IPMET) da UNESP, em Bauru, observou-se que o acompanhamento freqüente (e.g., 15 min) da evolução temporal do campo de divergência, usando observações de radar, podem prover indícios da ocorrência posterior de chuva intensa sobre o radar (Calheiros and Lemon, 1995).

No caso da chuva acumulada, a questão da amostragem temporal dos campos de precipitação tem sido particularmente abordada em relação ao monitoramento com radar, tendo Fabry et al (1994) demonstrado que os erros de amostragem podem superar todos os outros erros combinados. Na prática operacional do sistema de radares meteorológicos do IPMET está sendo desenvolvida, pelo segundo autor, uma verificação do grau de influência do intervalo das

imagens usadas no cômputo de mapas de chuva acumulada. Uma inspeção preliminar, usando intervalos de cerca de 30 segundos, indica que a amostragem da ordem de 1 minuto poderá ser necessária em situações convectivas de verão.

Resultados da natureza dos acima mencionados confirmam os requisitos de alta frequência de observação, como a que pode ser gerada no modo de varredura rápida, para o monitoramento de chuvas por satélite para fins hidrológicos no Brasil.

PERSPECTIVAS DE MÉDIO PRAZO

O INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) vem implementando uma série de programas espaciais, com destaque para a Missão Espacial Completa Brasileira, inaugurada com o satélite de coleta de dados SCD-1 em 1993, e o CBERS (China-Brazil Earth Remote-Sensing Satellite), composta de dois satélites, o primeiro programado para 1996. A expectativa é de que satélites como o CBERS muito venham a contribuir para as aplicações que exijam observações como as do Landsat.

Também merecem destaque os programas do INPE voltados para o desenvolvimento de sensores de relevância específica para a Hidrologia brasileira, projetados para atender, de forma dedicada, as necessidades do País e/ou para contribuir com a capacidade observacional a partir de satélites em âmbito mundial. Contempla-se novamente a possibilidade de se colocar imageadores a bordo de futuros satélites de telecomunicações geostacionários brasileiros da série BRASILSAT - a exemplo do que foi proposto por Ferreira et al (1988) - num caso, e o desenvolvimento de um sensor avançado de umidade em microondas para equipar séries futuras de satélites meteorológicos operacionais de órbita polar, no outro.

Por outro lado, a criação da Agência Espacial Brasileira, em 1994, abre novas perspectivas para os setores usuários das tecnologias espaciais no País. Na especificação de novas missões, destaca-se a fundamental participação da comunidade da Hidrologia e dos Recursos Hídricos.

COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

A utilização dos dados de satélites ambientais pela comunidade nacional da Hidrologia e dos Recursos Hídricos poderia ser intensificada se o acesso aos dados fosse de alguma forma facilitado e se houvesse mais fomento ao setor. Ao lado das plataformas tradicionais, como o TIROS-N/NOAA, o Landsat e o SPOT, surgem novas opções ainda a serem devidamente exploradas. Algumas são óbvias, como é o caso dos novos GOES, e outras nem tanto, como por exemplo o JERS-1. Além dos benefícios imediatos, uma utilização mais intensa das observações por satélite daria melhores condições para se estabelecer prioridades e requisitos de teor hidrológico em âmbito nacional a serem atendidos por missões espaciais lideradas pelo Brasil. Também auxiliaria na capacitação necessária para se beneficiar de futuras missões, sejam nacionais ou internacionais, e para participar mais ativamente de programas de sensores espaciais de interesse para a Hidrologia operacional, como o do imageador geostacionário e o do sensor de umidade em microondas que vêm sendo cogitados pelo INPE.

REFERÊNCIAS

- ASRAR, Ghassem; DOKKEN, David J. (eds.)--EOS reference handbook. Washington, DC., NASA, March 1993, 145p.
- BARRETT, E.C.; BEAUMONT, M.J.; HERSCHY, R.W.--Satellite remote sensing for operational Hydrology: present needs and future opportunities. *Remote Sensing Reviews*, London, v.4, n.2, p.451-466, agosto, 1990.

- CALHEIROS, R.V.; LEMON, R.L.--Clear air detection with weather radars: potential for flood forecasting. **In: International Symp. on Hydrological Applications of Weather Radars**, 3^o, São Paulo, agosto, 1995.
- FABRY, F.; BELLON, A.; DUNCAN, M.R.; AUSTIN, G.L.--High resolution rainfall measurements by radar for very small basins: the sampling problem reexamined. *J. of Hydrology*, 161, p.415-428, 1994.
- FERREIRA, Marlene Elias; MENZEL, W. P; NEIVA, J.E.F.--Uma proposta de imageador meteorológico para operar a bordo de um satélite brasileiro geoestacionário.--**In: Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 5^o, SBMET, Rio de Janeiro, 1988.--Rio de Janeiro: SBMET, 1988.-2v.,v.2, p.VIII.1-VIII.4.
- FERREIRA, Marlene Elias; SCHULTZ, G. A.; WEINMAN, J.A.; HAERTEL, V.; NOVO, E.; CLARKE, R.--Conclusões do workshop "Aplicações de satélites ambientais na gestão de recursos hídricos". *Boletim ABRH*, São Paulo, n.47, nov./dez. 1991.
- KUITTINEN, R.--**Remote Sensing for Hydrology: Progress and Prospects**--Genebra: WMO, 1992, 62p.(Oper. Hydrology Report n.36).
- MENZEL, W. P.; PURDOM, J. F.W.--Introducing GOES-I: the first of a new generation of geostationary operational environmental satellites. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Boston, v.12, n.5, p.757-781, May 1994.
- RAO, P. K. (ed.)--**Weather satellites: systems, data, and environmental applicattions**. Boston: American Meteorological Society, 1990.--503p.
- WEAVER, J.; PURDOM, J.F.W.; SMITH, S.B.--Comments on "Nowcasts of Thunderstorm Initiation and Evolution". *Weather and Forecasting*, Boston, v.9, n.4, p.658-662, Dec. 1994.
- WMO (World Meteorological Organization) -- **Executive Council Panel of Experts on Satellites**. Geneva, 18-22 March 1991. Final Report.
- WMO (World Meteorological Organization) -- **Executive Council Panel of Experts on Satellites**. Geneva, 9-10 March 1993. Final Report.
- WMO (World Meteorological Organization) -- **CBS Working Group on Satellites**. Geneva, 7-11 March 1994. Final Report.

Tabela 1 - Um sumário dos requisitos observacionais da Hidrologia e dos Recursos Hídricos face às oportunidades de monitoramento por satélite. Adaptada de Barrett et al, 1990.

Parâmetro	Resolução			Frequência			Precisão		
	máx.	mín.	ótima	máx.	mín.	ótima	máx.	mín.	ótima
Precipitação	100 m	10 km	1 km	5 min	1 mês	1 h	10%	30%	20%
Água superficial - extensão da área	10 m	100 m	30 m	12 h	7 dias	24 h	1%	5%	3%
Água subterrânea - mapas de aquíferos	50 m	1 km	100 m	1 ano	5 anos	3 anos	5 m	30 m	10 m
Evaporação	100 m	10 km	1 km	12 h	10 dias	1 dia	10%	30%	20%
Qualidade da água - turbidez	30 m	300 m	100 m	3 h	24 h	6 h	10%	50%	20%
Drenagem - área de drenagem	10 m	100 m	20 m	3 anos	10 anos	5 anos	0,1 %	1%	0,5%

Viabilidade: **negrito** = requisito pode, em geral, ser atendido pelos satélites existentes.

negrito + itálico = ***requisito poderá ser atendido por satélites no futuro próximo.***

sem destaque = requisito geralmente não poderá ser atendido nem pelos satélites existentes e nem pelos que estão sendo firmemente planejados, considerando-se o presente estado-da-arte.

(Obs.: o estado-da-arte aqui se refere ao fim do decênio de 1980.)