

O SATÉLITE E SEU POTENCIAL COMO INSTRUMENTO DE OBSERVAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR
PARA FINS AGRONOMETEOROLÓGICOS

Fausto Carlos de Almeida

Elisabete Caria Moraes

Neilson Arai

Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE

12200 - São José dos Campos, SP - Brasil

RESUMO

São relatadas as vantagens, sobre as convencionais, da utilização das imagens digitais fornecidas pelos satélites meteorológicos na estimativa da radiação solar incidente na superfície terrestre. Serão discutidas algumas metodologias desenvolvidas que utilizam imagens do canal visível, que se baseiam em processos físicos de transferência radiativa ou em análises estatísticas. Os resultados até então encontrados, evidenciam a viabilidade da utilização de satélites meteorológicos como instrumento de medição da radiação solar, principalmente por apresentar alta resolução espacial e temporal, e grande cobertura geográfica podendo portanto suprir a deficiência da rede convencional e permitir a avaliação do potencial energético em novas fronteiras agrícolas.

1. INTRODUÇÃO

É apresentado o potencial dos instrumentos de bordo dos satélites meteorológicos, como instrumento de observação da radiação solar incidente na superfície terrestre. Além da radiação, as imagens digitais também possibilitam a extração de outras informações como: estimativa de precipitação, de albedo, de temperatura na superfície, de índice vegetativo, monitoramento de geada entre outras (INPE, 1981).

2. CARACTERÍSTICAS DOS SATÉLITES

A figura 1 apresenta os satélites responsáveis pelo monitoramento do tempo, hoje em órbita. Os satélites de órbita polar (americanos) da série TIROS-N (Television and Infrared Observation Satellite) encontram-se a uma altitude de cerca de 850 km, possuem período de precessão nodal de um ano, órbita heliossíncrona com uma inclinação de aproximadamente 99 graus. Estes satélites, aos pares, operam simultaneamente com órbitas em planos diferentes. Isto permite monitoramento de uma mesma região com uma frequência de cerca de 6 horas. Os outros satélites da rede de observação são os de órbita geoestacionária, i. e, possuem o período orbital igual ao período de rotação da terra, portanto permanecendo estacionários em relação a esta e encontram-se a uma altitude de aproximadamente 36.000 km, com plano da órbita coincidente com o plano do equador terrestre (inclinação nula). Os satélites geoestacionários que se encontram em operação no presente são: dois satélites norte-americano da série SMS/GOES (Synchronous Meteorological Satellite/Geostationary Operational Environmental Satellite), o METEOSAT da comunidade Européia, o INSAT indiano, e o GMS japonês.

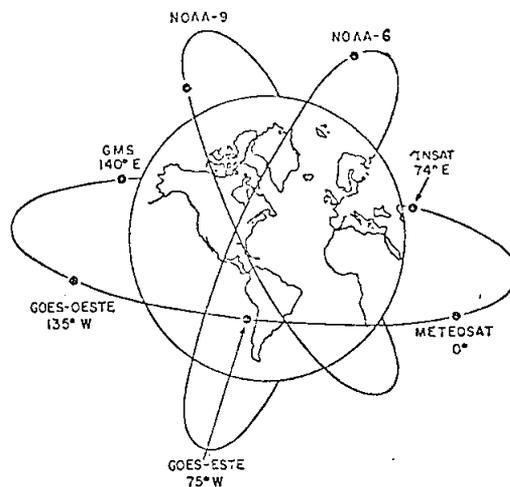


Fig. 1 - Órbita dos satélites meteorológicos.

Tendo em vista que os métodos de estimativa da radiação solar incidente na superfície terrestre necessitam maior frequência diária de informações a maioria dos trabalhos desenvolvidos fazem uso dos satélites meteorológicos geoestacionário. Portanto, serão descritas com maiores detalhes as características do satélite GOES, que faz a cobertura das Américas.

Os satélites da série GOES fazem a varredura da Terra através do "Visible and Infrared Spin Scan Radiometer Atmospheric Sounder" (VISSR-VAS), e transmitem informações no canal visível (energia solar refletida na faixa espectral de 0,55 a 0,75 μm), no canal infravermelho, (energia emitida pela superfície terrestre e nuvens na faixa espectral de 10,5 a 12,6 μm), bem como informações que permitem estimar o conteúdo de vapor d'água atmosférico e perfil vertical de temperatura. A resolução radiométrica do canal infravermelho é de 8 bits, que permite reproduzir a variação de temperatura de 160 a 330K e a do canal visível é de 6 bits, que representam valores de refletância ou albedo espectral variando de 0 a 100%. No que diz respeito a resolução espacial, ela depende das características de imageamento de cada canal. O canal infravermelho possui resolução de 7 por 3 km e o canal visível de aproximadamente 1 km^2 , isto no ponto subsatélite (Equador), conforme Hambrick e Phillips (1980); e sua resolução temporal é de 30 minutos para os dois canais.

Antes de se extrair informações das imagens digitais fornecidas pelos satélites geoestacionários é necessário um processamento, que inclui "calibração" e "navegação". O processo de "navegação" consiste em estabelecer uma relação precisa entre o sistema de coordenadas do satélite (linha e elemento, ou seja, "pixel") e as coordenadas terrestres (latitude e longitude), (Conforte et alii, 1983). Já o processo de "calibração" é feito com o intuito de aferir a resposta de algum sensor que se apresente degradado. Isto porque, os sensores tendem a se deteriorar de forma distinta. Um método de "calibração" sugerido pode ser visto em Norton et alii (1980).

3. METODOLOGIAS E RESULTADOS

Atualmente, a estimativa da radiação solar incidente na superfície terrestre ou do albedo, utilizando imagens do canal visível vem sendo feita através de técnicas estatísticas ou de modelos físicos. Os resultados

atê agora encontrados, demonstram a utilidade dos satêlites meteorolôgicos como instrumento de medida da radiação solar, principalmente pelo fato dos satêlites geostacionários apresentarem alta resolução espacial (1km²), tem po real é excelente cobertura geográfica. Podendo assim suprir a deficiência da rede convencional, quer do ponto de vista de baixa resolução encontrada, quer da intercalibração; e também avaliar o potencial energético em novas fronteiras agrícolas ainda não servidas pela rede convencional.

A técnica estatística estima a radiação solar pelo uso de uma relação empírica, determinada com dados de imagens dos satêlites e dados meteorolôgicos convencionais. Dentro desta abordagem destacam-se os trabalhos de Hanson (1976), Vonder Haar e Ellis (1978), Taylor e Stowe (1984), que usam satêlites de órbita polar; e de Hanson e Hay (1979) e Tarpley (1979) utilizando satêlites de órbita geostacionária. A maioria dos trabalhos posteriores com o enfoque estatístico se baseiam na técnica de Tarpley.

Tarpley (1979), utilizando o satêlite geostacionário GOES, desenvolveu um método que usa regressão para avaliar a radiação solar horária incidente na superfície. Neste método foi levado em consideração as variações geográficas do albedo e a quantidade de nuvens, estando esta dividida em três categorias: atmosfera sem cobertura de nuvens, semi-coberta (50%) e totalmente coberta. Ao analisar os resultados horários, Tarpley (1979) verificou que a estimativa tornava-se menos confiável com o aumento de nebulosidade. Na análise horária foi obtida para situação de céu limpo, um desvio padrão da ordem de 10% em relação a radiação solar horária medida por radiômetro e para situação de cobertura total a relação empírica superestimou os resultados em cerca de 50%. Usando uma ou duas imagens do GOES, simulou-se a estimativa da radiação solar diária que poderia ser feita usando satêlite de órbita polar. Analisou-se dois casos: com uma e com duas imagens, e ao comparar os resultados, verificou que, com uma única imagem diária, a acuracidade da estimativa era muito inferior à obtida com duas imagens, apresentando coeficientes de correlação com os dados de verdade terrestre de 0,68 e 0,88, respectivamente. Com isto, concluiu que a obtenção de uma boa estimativa seria possível se houvesse duas passagens diárias do satêlite de órbita polar, uma por volta das 10 horas da manhã e a outra por volta de 2

horas da tarde sobre a mesma superfície iluminada. Isto evidenciou que a utilização dos satélites geostacionários possibilitam uma estimativa mais precisa, levando em conta sua resolução temporal (30 minutos).

Os trabalhos desenvolvidos usando modelo físico, baseiam-se na teoria de transferência radiativa e utilizam as imagens digitais de sa télite como variável necessária para o cálculo da radiação solar. Traba lhos com este enfoque foram realizados por Raschke e Preuss (1979), Gautier et alii (1980), Moser e Raschke (1983), Diak e Gautier (1983), Delorme et alii (1983), Pinker e Ewing (1985), Dedieu et alii (1986) entre outros. Mui tos trabalhos têm sido realizados com base no trabalho de Gautier et alii (1980), que sintetizaram as informações físicas de uma maneira geral e a plicaram uma formulação simples no estudo da transferência radiativa.

No modelo físico de Gautier et alii (1980) foram considera dos os efeitos do espalhamento de Rayleigh, a absorção pelo vapor d'água, e a reflexão e absorção por nuvens. Neste modelo foram feitos dois tipos de parametrização nos processos de transferência da radiação solar para distinguir a atmosfera livre de nuvens, da atmosfera com nuvens. Os val ores de reflectância (albedo espectral normalizado, R_0) são obtidos através dos valores de "counts" (valores de brilho percebido pelo satélite (CT), va riando de 0 a 63) das imagens do canal visível fornecidas pelo satélite geo estacionário (Norton et alii, 1980).

Foi observada na análise diária da radiação solar incidente na superfície uma superestimativa dos resultados quando comparados com os dados de verdade terrestre. Para uma atmosfera livre de nuvens foi obtido um desvio padrão médio de 5% em relação ao valor médio registrado em super fície. Em dias de cobertura total foi encontrado um desvio padrão de 15%, sendo maior este desvio, quando a cobertura era de nuvens cirrus. Ao anali sar todo o conjunto de dados, que inclui céu limpo e encoberto, Gautier et alii (1980) verificou que este modelo estima a radiação solar diária inci dente na superfície com um desvio padrão de 9% em relação aos dados de ver dade terrestre. Diak e Gautier (1983) implementaram este modelo incluindo na parametrização o efeito da absorção pelo ozônio, além de eliminarem al guns erros sistemáticos, apontados por Diak et alii (1982); como a mini mização dos erros de navegação e uma correção empírica para nuvens menores

do que o campo de visada do sensor. Estas alterações melhoraram o resultado obtido anteriormente para todo o conjunto de dados em 5%.

Todos os trabalhos desenvolvidos recentemente nesta área, tem evidenciado a eficácia da utilização de imagens do canal visível de sa télite geostacionário como meio de determinar a radiação solar incidente na superfície.

Modelos físicos mais complexos tem surgido, como por exemplo, de Dedieu et alii (1986) que estima a radiação solar incidente na superfície através de imagens do satélite geostacionário METEOSAT, cujo canal visível apresenta uma banda espectral mais larga do que a do GOES, ou seja, 0,4 a 1,1 μ m. Devido a esta característica, desenvolveu-se um modelo similar ao de Gautier et alii (1980), onde é feito a parametrização do espalhamento de Rayleigh e de Mie, e da absorção do vapor d'água e do ozônio de acordo com a faixa espectral do METEOSAT. Os resultados obtidos no trabalho de Dedieu et alii (1986) reafirmam os resultados obtidos por Gautier et alii (1980). Este modelo tem sido empregado para elaborar mapas de albedo, fluxo líquido de radiação e radiação solar incidente na superfície para a França.

Pinker e Ewing (1985) desenvolveram um modelo mais complexo para estimar a radiação solar global incidente na superfície utilizando imagens de satélites geostacionários. No modelo, é parametrizado a absorção por ozônio, espalhamento de Rayleigh, absorção pelo vapor d'água, absorção e espalhamento por aerossóis, e absorção e espalhamento por nuvens. A análise de variáveis mostrou que neste modelo os parâmetros de entrada mais importantes são o ângulo solar zenital e a espessura ótica das nuvens. Também, que uma boa estimativa do parâmetro aerossóis é importante na precisão da avaliação da radiação solar sob situações de céu limpo, enquanto que o efeito das nuvens domina os processos de transferência radiativa, claramente para o caso de céu encoberto.

A análise da radiação solar diária obtida inferindo-se a espessura ótica da nuvem através de satélite apresentou um coeficiente de correlação de 0,944 com um erro de 12,5% em relação aos dados observados.

4. CONCLUSÕES

Dada a cobertura espacial, resolução, e possibilidade de obtenção de informações em tempo real propiciado pelo uso de satélites, aliado aos resultados já obtidos com modelos estatísticos e físicos, cremos ser importante a implementação e a utilização na área de agrometeorologia, das técnicas de estimativa da radiação solar incidente na superfície terrestre através das imagens do canal visível dos satélites geoestacionários. Este potencial como instrumento de observações da radiação solar para fins agrometeorológicos, já é possível hoje no Brasil como mostrado por Moraes e Almeida (1987).

Considerando a simplicidade e eficiência do método apresentado por Diak e Gautier (1983), sugere-se sua utilização na estimativa da radiação solar incidente na superfície. Enfatiza-se entretanto, que as situações com presença de nuvens ainda exigem mais pesquisa, principalmente na consideração dos tipos de nebulosidade e sua influência na radiação incidente na superfície, garantindo com isto um erro médio de medida compatível ao uso agrometeorológico para qualquer tipo de céu (limpo ou encoberto).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CONFORTE, J.C.; ARAI, N.; ALMEIDA, F.C. *Navegação das imagens dos satélites meteorológicos geoestacionários*. São José dos Campos, INPE, 1983. (INPE-2772-RPE/435).
- DEDIEU, G.; DESCHAMPS, P.Y.; KERR, Y.H. Satellite estimation of solar irradiance at the surface of the earth and of surface albedo using physical model applied to METEOSAT data. *Journal Climate Applied Meteorology*, 1986 (no prelo).
- DELORME, C.; AMADO, F.; RABERANTO, P. The use of METEOSAT for solar radiation mapping. *Meteorologische Rundschau*, 36(2):41-49, Apr., 1983.
- DIAK, G.R.; GAUTIER, C. Improvements to a simple model for estimating insolation from GOES data. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 22(3):505-508, Mar., 1983.

- DIAK, G.R.; GAUTIER, C.; MASSE, S. An operation system for mapping insolation from GOES satellite data. *Solar Energy*, 28(5):371-376, May, 1982.
- GAUTIER, C.; DIAK, G.R.; MASSE, S. A simple physical model to estimate incident solar radiation at the surface from GOES satellite data. *Journal of Applied Meteorology*, 19(8):1005-1012, Aug., 1980.
- HAMBRICK, L.N.; PHILLIPS, D.R. *Earth Locating image data of spin-stabilized geosynchronous satellites*. NOAA Tech. Memorandum NES III, Washington, 1980.
- HANSON, K.A. A new estimate of solar irradiance at the earth's surface on zonal and global scales. *Journal of Geophysical Research*, 81(24):4435-4443, Aug., 1976.
- HANSON, K.J.; HAY, J.E. *Presented at the 12th Technical Conference on Tropical Meteorology*, New Orleans, 24-27, 1979.
- INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA (INPE/DME). *Curso de satélites meteorológicos - Aplicações e Fotointerpretação*. Parte A, B e C. São José dos Campos, INPE, 1981. (INPE-2235-MD/15).
- MORAES, E.C.; ALMEIDA, F.C. *Aplicação do Método de Estimativa da Radiação Solar por Satélites para o Brasil*. São José dos Campos, INPE, 1987. (no prelo).
- MÖSER, W.; RASCHKE, E. Mapping of global radiation and cloudiness from METEOSAT image data. *Meteorologische Rundschau*, 36(2):33-41, Apr., 1983.
- NDRTON, C.; MOSHER, F.R.; HINTON, B.; MARTIN, D.W.; SANTEK, D.; KUHLOW, W. A model for calculation atmospheric turbidity over the oceans from geostationary satellite data. *Journal of Applied Meteorology*, 19(6): 633-644, June, 1980.
- PINKER, R.T.; EWING, J.A. Modeling surface solar radiation: Model formulation and validation: *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 24(5):389-401, May, 1985.

- RASCHKE, E.; PREUSS, H.J. The determination of the solar radiation budget at the earth's surface from satellite measurements. *Meteorologische Rundschau*, 32(1):18-28, Feb., 1979.
- TARPLEY, J.D. Estimating incident solar radiation at the surface from geostationary satellite data. *Journal of the Applied Meteorology*, 18(9):1172-1181, Sep., 1979.
- TAYLOR, V.R.; STONE, L.L. Reflectance characteristics of uniform earth and cloud surfaces derived from Nimbus-7 ERB. *Journal of Geophysical Research*, 89(4):4987-4996, June, 1984.
- VONDER HAAR, T.H.; ELLIS, J.E. *Solar radiation reaching the ground determined from meteorological satellite data*. Proc. of the Third Conference on Atmospheric Radiation, Davis, 187-189, 1978.