

AVALIAÇÃO DA ATENUAÇÃO DE NUVENS NA ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE
NA SUPERFÍCIE TERRESTRE ATRAVÉS DE SATÉLITE GEOESTACIONÁRIO

Elisabete Caria Moraes
Nelson Arai
Fausto Carlos de Almeida

Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
12200 - São José dos Campos, SP - Brasil

RESUMO

A análise do método indireto via satélite, que utiliza imagens do canal visível do satélite GOES, apresentou erro relativo alto (35%) para situação de céu encoberto. Com o intuito de melhorar a estimativa da radiação solar em situações com nuvens, têm sido concentrados esforços no estudo da influência da nebulosidade na radiação solar incidente na superfície. Como a atenuação das nuvens é função de sua espessura ótica que determina o brilho da nuvem percebido pelo satélite, correlacionou-se o fator de atenuação, por nuvens, da radiação solar incidente na superfície, registrada com piranômetro espectral, com os valores dos "counts" visível. Os dados utilizados neste trabalho foram coletados em abril-maio de 1985, em São José dos Campos - SP, e junho e agosto de 1986 em Cachoeira Paulista - SP.

1. INTRODUÇÃO

Um fator de grande importância na estimativa da quantidade de radiação solar incidente na superfície terrestre é a cobertura de nuvens. Neste estudo tentou-se relacionar a atenuação da radiação solar devido à presença de nuvens, com informações provenientes do satélite meteorológico geostacionário GOES. Essa atenuação depende da espessura ótica da nuvem;

que determina o valor de reflectância percebido pelo satélite. Para a obtenção de uma correspondência entre os diversos tipos de nuvem e suas atenuações, foram usados dados obtidos do canal visível do satélite meteorológico geostacionário GOES e dados de radiação solar espectral entre 0,525 e 0,71 μ m, incidente na superfície terrestre registrados com piranômetros espectrais Eppley, utilizando-se os filtros OG1 e RG8. Gautier et al (1980) adotaram um procedimento em que a atenuação apresentava duas componentes independentes, a reflexão contida na informação do albedo da nuvem e a absorção, considerada como sendo uma função linear do brilho da nuvem, apresentando um valor máximo de 20%.

Os dados usados neste estudo foram coletados nos meses de abril e maio de 1985, em São José dos Campos - SP, e junho e agosto de 1986 em Cachoeira Paulista - SP. Os dados observados do espaço foram obtidos do satélite geostacionário GOES no canal visível, que oferece uma resolução espacial de cerca de 1km² no ponto sub-satélite, e uma resolução temporal de 30 minutos. Os dados observados em terra foram coletados usando uma bateria de piranômetros espectrais Eppley fazendo medidas espectrais na faixa descrita anteriormente.

2. METODOLOGIA

Os valores de reflectância relacionados com os valores de "count", são obtidos diretamente das imagens do canal visível do satélite na forma digital. Na relação desses valores de "count" com a atenuação da radiação existem três aspectos relevantes que devem ser considerados; a) o processo de "navegação" que consiste na localização precisa de um ponto da superfície da Terra na imagem de satélite. b) A calibração dos oito sensores do canal visível do satélite GOES para a obtenção de uma resposta homogênea. Neste estudo não foi feita a calibração dos sensores, pois na análise da radiação solar incidente na superfície estimada por satélite, durante o experimento de abril e maio de 1985 (Moraes, 1986), não foram verificados problemas nas respostas dos sensores, e as pequenas variações nos valores de count não causaram alterações nos valores de radiação solar estimada. c) A normalização dos valores de count com relação ao meio dia local, para se eliminar o efeito de iluminação.

Os dados de piranômetro foram coletados em horários coincidentes com os da obtenção das imagens e também numa faixa espectral similar. O coeficiente de atenuação (at) foi determinado usando a seguinte relação:

$$\gamma = \frac{R_C}{R_1} \quad (1)$$

onde R_C é a radiação solar instantânea incidente na superfície medida por piranômetro em situação com nuvens, e R_1 é a média dos valores instantâneos para cada horário da radiação solar incidente na superfície medida por piranômetro em situação de céu limpo, para um mesmo local. Como,

$$R_C = S_0(1 - at) \quad (2)$$

onde S_0 é a constante solar.

Fazendo

$$\gamma = \frac{R_C/S_0}{R_1/S_0} \quad (3)$$

e considerando $R_1 \approx S_0$ pois de acordo com Paltridge (1973) o espalhamento atmosférico para situação de céu limpo atenua pouco a radiação solar incidente na superfície quando comparado com situações de céu encoberto. Além disso, determinou que o espalhamento atmosférico, seja o coeficiente de reflexão direta (α), depende principalmente do ângulo solar zenital (θ), i.e.,

$$0.095 \geq \alpha \geq 0.053$$

para

$$66.4^\circ \geq \theta \geq 0^\circ,$$

portanto tem-se de 2 e 3;

$$at = 1 - \gamma$$

(4)

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Neste estudo foram identificados oito tipos de nuvens: cirrus, cirrustratus, cirrustratus denso, altostratus, altostratus denso, altocumulus, stratus e stratocumulus.

A Figura 1 apresenta uma classificação das nuvens baseada na atenuação e na resposta radiométrica do canal visível.

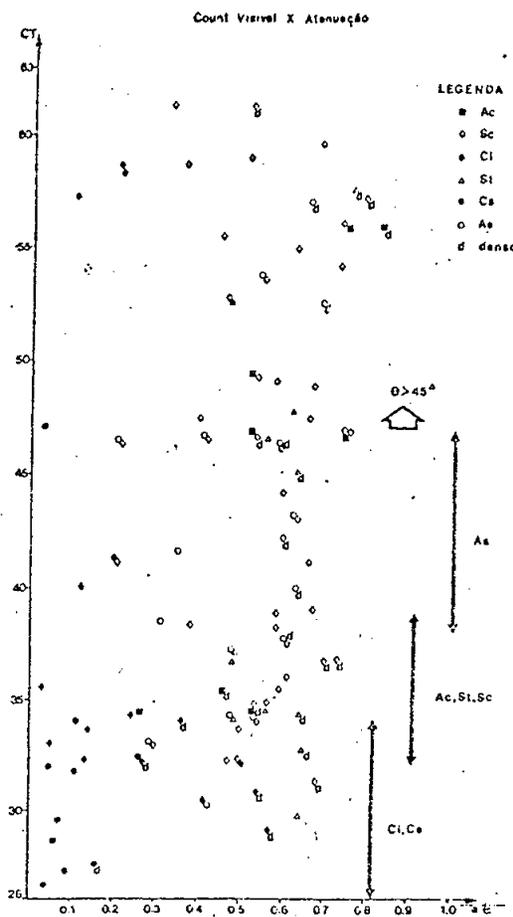


Fig. 1 - Relação entre atenuação de nuvens (at) e "count" do canal visível normalizado.

Pode ser visto também que, embora exista a superposição de valores de "counts", para alguns tipos de nuvens, pode ser feita uma triagem preliminar das mesmas, quanto ao seu tipo de atenuação. Na análise, utilizou-se um critério de eliminação nos casos onde o ângulo solar zenital (θ) fosse maior que 60° , pois a margem de erro nesses casos é bastante alta, como foi observado por Moraes (1986).

Ao fazer a normalização verificou-se que para ângulos zenitais acima de 45° os valores de "counts" eram muito altos, e incoerentes com os tipos de nuvens observados em superfície. Além disso, valores da radiação solar incidente na superfície com o ângulo solar zenital maior do que 45° são muito pequenos quando comparados com o máximo de radiação solar recebido na superfície, o que equivale dizer que essa quantidade é pequena quando se consideram totais diários. Esses casos foram eliminados da análise a seguir, o que representou cerca de 35% dos casos observados.

Observou-se que quando se apresentaram mais que um tipo de nuvem simultaneamente, tanto os valores de "count" quanto os valores de atenuação fugiam dos limites estabelecidos para cada categoria. Analisando individualmente as nuvens, as do tipo cirrus apresentam as características de brilho (count) e atenuação bem definidas; já as do tipo cirrustratus apresentam características de brilho não tão bem definidas, mas com valores de "count" próximo do observado para nuvens cirrus. Em ambos os casos a diferença nos valores de "count" não causa diferenças significativas na atenuação tanto para cirrus quanto para cirrustratus. Ou seja, embora a espessura ótica da nuvem aumente, a atenuação não tem uma variação tão grande. No caso de nuvem tipo stratus existe um razoável espalhamento em termos de valores de count e de atenuação; já os casos de nuvens do tipo alto cumulos foram poucos no período estudado. No caso de stratocumulus parece haver uma tendência da atenuação aumentar com a espessura ótica até um limite em torno de 60% a partir de onde, mesmo tendo um aumento no valor do "count" a atenuação não parece variar significativamente. As nuvens tipo altostratus apresentaram significativo espalhamento nos valores de "count" e na atenuação.

Para o efeito global de nuvens analisado neste trabalho (reflexão no topo + absorção) é interessante observar um limiar em torno

de 75%, para os tipos de nuvens observados durante os experimentos.

A tentativa de se conseguir uma curva única, para todos os tipos de nuvens apresentou um coeficiente de regressão linear igual a 0.44.

Dado que a tipologia (classificação do tipo de cobertura) feita pelo observador de baixo para cima não consegue distinguir coberturas em vários níveis (lembrando que o satélite "classifica" de cima para baixo), serão necessários um maior número de casos, incluindo também imagens no canal infravermelho.

O espalhamento dos dados mostrados pela Figura 1 demonstra a dificuldade de se incorporar o efeito das nuvens nas estimativas de radiação solar por satélite para céu parcialmente encoberto.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- CAUTIER, C.; DIAK, C.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.
- MORAES, E.C. *Comparação entre métodos de estimativa da radiação solar: satélite e convencional*. São José dos Campos, INPE, 1986. (INPE-4025-TDL/242).
- PALTRIDGE, G.W. *Direct measurement of water vapor absorption of solar radiation in the free atmosphere*. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 30(1):156-160, Jan., 1973.