



|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| AUTORES<br>AUTHORS                                | PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS                   |   | AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY            |
|   | ATENUAÇÃO NUVENS<br>SATÉLITE RADIAÇÃO SOLAR |   | Marco Antonio Raupp<br>p. Diretor Geral |
| AUTOR RESPONSÁVEL<br>RESPONSIBLE AUTHOR           |   | DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION   | REVISADA POR / REVISED BY               |
| Elisabete Caria Moraes<br><i>Elisabete Moraes</i> |   | <input type="checkbox"/> INTERNA / INTERNAL<br><input checked="" type="checkbox"/> EXTERNA / EXTERNAL<br><input type="checkbox"/> RESTRITA / RESTRICTED | Jesus Marden dos Santos                 |

|            |               |
|------------|---------------|
| CDU/UDC    | DATA / DATE   |
| 551.521.14 | Setembro 1987 |

|                    |   |                   |                           |                          |
|--------------------|---|-------------------|---------------------------|--------------------------|
| TÍTULO/TITLE       | PUBLICAÇÃO Nº<br>PUBLICATION NO   |                   | ORIGEM<br>ORIGIN          |                          |
|                    | INPE-4366-PRE/1191  |                   | DME                       |                          |
| AUTORES/AUTHORSHIP | AVALIAÇÃO DA ATENUAÇÃO POR NUVENS NA ESTIMATIVA<br>DA RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE NA SUPERFÍCIE TER-<br>RESTRE ATRAVÉS DE SATÉLITE GEOESTACIONÁRIO |                   | PROJETO<br>PROJECT        |                          |
|                    |   |                   | PROSAT                    |                          |
|                    |   |                   | Nº DE PAG.<br>NO OF PAGES | ULTIMA PAG.<br>LAST PAGE |
|                    |   |                   | 15                        | 9                        |
|                    |   | VERSÃO<br>VERSION | Nº DE MAPAS<br>NO OF MAPS |                          |
|                    |   |                   |                           |                          |

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

A estimativa da radiação solar incidente na superfície terrestre utilizando 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, estudou-se a influência da nebulosidade na radiação solar incidente na superfície. Como a atenuação por nuvens é função de sua espessura ótica, que determina o brilho da nuvem percebido pelo satélite, correlacionou-se o fator de atenuação por nuvens com os valores de "count" visível. Os dados utilizados neste trabalho foram coletados em abril e maio de 1985, em São José dos Campos, SP, e em junho e agosto de 1986, em Cachoeira Paulista, SP.

OBSERVAÇÕES / REMARKS

Trabalho submetido para publicação na Revista Ciência e Cultura.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos a colaboração dos Srs. Jorge Luiz Martins No  
gueira e Paulo Rogério de Aquino Arlindo pela montagem da instrumenta  
ção. Ao Sr. Nilson Luiz Rodrigues pelo auxílio na coleta de dados. Agra  
decemos também a revisão técnica do Dr. Jesus Marden dos Santos e a da  
tilografia da Sra. Nilda Costa Alves Moreira da Silva.





#### ABSTRACT

*Insolation estimates at earth surface using GOES visible channel imagery showed high error (35%) for cloudy sky situation. To improve the insolation estimates for cloudy conditions, emphasis was placed on the study of the influence of cloudiness on insolation of earth's surface. As the cloud attenuation depends on its optical thickness, which determines the brightness measured by satellite, a correlation between the attenuation by clouds and visible "count" values are made. The data set used in this paper were collected in April and May, 1985 in São José dos Campos, S.P., and in June and August, 1986 in Cachoeira Paulista, S.P.*

## SUMÁRIO

|   | <u>Pag.</u> |
|---|-------------|
| 1. <u>INTRODUÇÃO</u> .....              | 1           |
| 2. <u>METODOLOGIA</u> .....             | 2           |
| 3. <u>RESULTADOS E CONCLUSÕES</u> ..... | 4           |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....         | 9           |

## 1. INTRODUÇÃO

A radiação solar incidente na superfície terrestre estimada através do modelo físico de Gautier et alii (1980), que utiliza imagens digitais do canal visível de satélite geostacionário, foi implementado para o Brasil por Arai e Almeida (1982, 1985). Verificaram, nesta implementação, a viabilidade de gravação, setorização, navegação (Conforte et alii, 1983) e processamento de imagens digitais do canal visível. Moraes (1986) comparou a radiação solar, instantânea e integrada durante o dia, incidente na superfície terrestre, utilizando o modelo de Gautier et alii (1980), com os dados de verdade terrestre. Verificou uma boa concordância dos resultados para situação de céu limpo e com cirrus (erro relativo de 14%) e erros maiores para situações de céu encoberto (35%). Estes erros podem ser minimizados determinando um fator de conversão de banda espectral do satélite para a banda do espectro global e definindo novas curvas de atenuação de nuvens. No trabalho de Moraes (1986) intercomparou-se a radiação solar estimada com imagens de satélite com os dados de verdade terrestre e com a radiação solar calculada através de metodologias empíricas simples, como a do modelo de Bennett (1965) e a de Brooks (1959) e Archer (1964), que utilizam horas de brilho solar e parâmetros meteorológicos convencionais, respectivamente. Nesta intercomparação ficou evidenciado a praticabilidade da metodologia que utiliza imagens digitais de satélite, pois não há restrição quanto a região de aplicação, o que possibilita a eliminação da ausência destas informações em muitas regiões do Brasil.

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 devida à presença de nuvens com informações provenientes do satélite meteorológico geostacionário GOES. Esta atenuação depende da espessura óptica 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 $\mu$ m, incidentes na superfície terrestre, registrados com piranômetros espectrais Eppley utilizando os filtros OG1 e RG8. Gautier et alii (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 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 em 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 1 km<sup>2</sup> no ponto subsatélite, 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 destes valores "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 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 estimadas 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 eliminar o efeito de iluminação.



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

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

onde  $R_1$  é a média dos valores instantâneos para cada horário da radiação solar incidente na superfície medida por piranômetro em situação de céu limpo, e  $R_c$  é a radiação solar instantânea incidente na superfície medida por piranômetro em situação de céu com nuvens, que pode ser expressa por:

$$R_c = S_0 (1-at), \quad (2)$$

sendo  $S_0$  a constante solar.

Dividindo a Equação 1 por  $S_0$  e utilizando a Equação 2, tem-se:

$$\gamma = \frac{(1 - at)}{R_1/S_0}, \quad (3)$$

visto que o espalhamento atmosférico para situação de céu limpo atenua pouco a radiação solar incidente na superfície, quando comparado com situações de céu com nuvens, e, segundo Paltridge (1973), o coeficiente de reflexão direta ( $\alpha$ ), que expressa numericamente o efeito de espalhamento atmosférico que depende principalmente do ângulo solar zenital ( $\theta$ ), é menor do que 0,1 e apresenta pequena variação, i.e.,

$$0,053 \leq \alpha \leq 0,095$$

para

$$0 \leq \theta \leq 66,4^\circ ;$$

portanto

$$R_1 \approx S_0$$

e a Equação 3 pode ser expressa por:

$$\gamma = 1 - at . \quad (4)$$

### 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.

Pode ser visto também que, embora exista a superposição de valores de "counts" para alguns tipos de nuvens, pode ser feita uma triagem preliminar delas, quanto ao seu tipo de atenuação. Na análise, utilizou-se um critério de eliminação nos casos onde o ângulo solar zenital ( $\theta$ ) fosse maior que  $60^\circ$ , 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  $45^\circ$  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  $45^\circ$  são muito pequenos quando comparados com o máximo de radiação solar recebido à superfície, o que equivale dizer que esta quantidade é pequena quando se consideram totais diários. Este caso

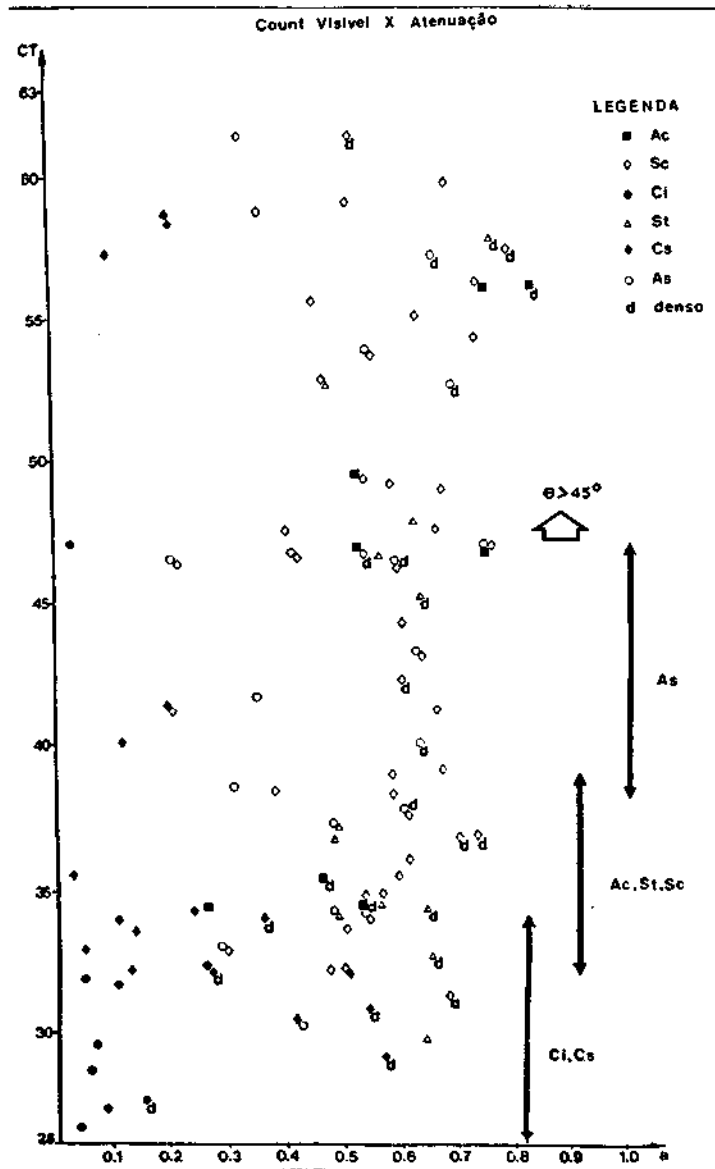


Fig. 1 - Relação entre atenuação de nuvens (at) e "count" do canal visível normalizado.

foram eliminados da análise a seguir, os quais representaram cerca de 35% dos casos observados.

Observou-se que quando se apresentou mais de um tipo de nuvem simultaneamente, tantos 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" próximos 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 do tipo stratus, existe um razoável espalhamento em termos de valores de "count" e de atenuação; já os casos de nuvens do tipo altocumulos foram poucos no período estudado. No caso de stratocumulus, parece haver uma tendência de a atenuação aumentar com a espessura ótica até um limite em torno de 60% a partir de onde, mesmo havendo um aumento no valor do "count", a atenuação não parece variar significativamente. As nuvens do tipo altostratus apresentaram significativo espalhamento nos valores de "count" e na atenuação.

Para o efeito global de nuvens analisadas 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 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), será necessário um maior número de casos, incluindo também imagens no canal infravermelho.

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



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAI, N.; ALMEIDA, F.C. *Estimativa da radiação solar que chega à superfície terrestre utilizando satélites meteorológicos*. São José dos Campos, INPE, 1982 (INPE-2567-PRE/215).
- *Estimativa da radiação solar instantânea por satélite para céu claro ou encoberto*. São José dos Campos, INPE, 1985 (INPE-3390-PRE/661).
- ARCHER, C.B. The relationship between radiation and solar altitude in Southern Africa. *Notas*, 13:21-24, 1964.
- BENNETTI, I. Monthly maps of mean daily insolation for the United States. *Solar Energy*, 9(3):145-152, March, 1965.
- BROOKS, F.A. *An introduction to physical microclimatology*. Davis, University of California, 1959.
- 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).
- GAUTIER, 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.



- DISSERTAÇÃO
- TESE
- RELATÓRIO
- OUTROS

|                   |   |           |                       |   |   |  |
|-------------------|---|-----------|-----------------------|---|---|--|
| IDENTIFICAÇÃO     | TÍTULO  |           |                       |   |   |  |
|                   | Avaliação da atenuação de nuvens na estimativa da radiação solar incidente na superfície terrestre através de satélite geostacionário |           |                       |   | ORIENTADOR  |  |
|                   | AUTOR(ES)   |           |                       |   | CO-ORIENTADOR   |  |
|                   | Elisabete Coria Moraes - 571<br>Nelson Arai - 571<br>Fausto Carlos de Almeida - 490   |           |                       |   |   |  |
| LIMITE            | DEFESA  | CURSO     | ORGÃO                 | DIVULGAÇÃO  |   |  |
| 14/04/87          | _/_/  |           | DME                   | <input checked="" type="checkbox"/> EXTERNA <input type="checkbox"/> INTERNA <input type="checkbox"/> RESTRITA<br>EVENTO/MEIO<br><input checked="" type="checkbox"/> CONGRESSO <input type="checkbox"/> REVISTA <input type="checkbox"/> OUTROS |   |  |
| REV. TÉCNICA      | NOME DO REVISOR   |           |                       | NOME DO RESPONSÁVEL   |   |  |
|                   | Jerry March Jurety<br>RECEBIDO: 21/12/87    DEVOLVIDO: 23/1/88    ASSINATURA: <i>[Signature]</i>                                      |           |                       | Johannes Fanozaki<br>APROVADO: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO    DATA: 30/04/87    ASSINATURA: <i>[Signature]</i>   |   |  |
| REV. LINGUAGEM    | Nº  | PRIOR.    | RECEBIDO              | NOME DO REVISOR   |   |  |
|                   | 125   | 1         | 20/5/87               | Yaulis P. Lavalle   |   |  |
| PÁG.              | DEVOLVIDO   |           | ASSINATURA            |   |   |  |
| 6                 | 21/5/87   |           | Yaulis P. Lavalle     |   |   |  |
|                   |   |           |                       | OS AUTORES DEVEM MENCIONAR NO VERSO INSTRUÇÕES ESPECÍFICAS, ANEXANDO NORMAS, SE HOUVER  |   |  |
| RECEBIDO          |   | DEVOLVIDO |                       | NOME DA DATILOGRAFA   |   |  |
| 4/5/87            |   | _/_/      |                       | Estina  |   |  |
| Nº DA PUBLICAÇÃO: |   |           | AUTORIZO A PUBLICAÇÃO |   |   |  |
| CÓPIAS:           |   |           | PÁG.:                 |   | <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO    _/_/ |  |
| Nº DISCO:         |   |           | LOCAL:                |   | DIRETOR   |  |

OBSERVAÇÕES E NOTAS

Trabalho a ser apresentado no congresso de Agrometeorologia a ser realizado em 1987