



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO
AUTHORIZATION FOR PUBLICATION

PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS

RADIAÇÃO SOLAR
SATÉLITE

AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY

Marco Antônio Raupp
Diretor Geral

AUTOR RESPONSÁVEL
RESPONSIBLE AUTHOR

Elisabete Caria Moraes
Elisabete Caria Moraes

DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION

INTERNA / INTERNAL
 EXTERNA / EXTERNAL
 RESTRITA / RESTRICTED

REVISADA POR / REVISED BY

Y. Viswanadham
Y. Viswanadham

CDU/UDC

551.521.31

DATA / DATE

Setembro 1987

TÍTULO/TITLE	PUBLICAÇÃO Nº PUBLICACION NO	INPE-4349-PRE/1185
	AFERIÇÃO DO MÉTODO DE ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR POR SATÉLITES	
AUTORES/AUTHORSHIP	Elisabete Caria Moraes Fausto Carlos de Almeida	

ORIGEM
ORIGIN

DME

PROJETO
PROJECT

PROSAT/RADSAT

Nº DE PAG. NO OF PAGES	ULTIMA PAG. LAST PAGE
27	16
VERSÃO VERSION	Nº DE MAPAS NO OF MAPS



RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

O aprimoramento das técnicas de extração de informações meteorológicas utilizando satélites meteorológicos, aliado à escassez de estações meteorológicas em grande parte do País, tem motivado o crescente interesse pelo desenvolvimento destas técnicas. Em particular, o problema de estimativa da radiação solar incidente na superfície tem sido estudado utilizando a imagem do canal visível do satélite geostacionário GOES. Neste trabalho, a partir de um experimento de campo (São José dos Campos abril-maio de 1985), foram realizadas comparações entre estimativas instantâneas e integradas (diárias), obtidas por satélite; piranômetro; observações de brilho solar e modelos convencionais (baseados em parâmetros meteorológicos obtidos em superfície). Levando em consideração a resolução espacial e temporal aliada à cobertura geográfica fornecida pelo satélite, e o erro (14% para céu claro e cirrus e 35% para céu encoberto) encontrado neste trabalho, conclui-se que o método indireto via satélite é o mais prático. Além disto, testes realizados indicaram que esta estimativa pode ser melhorada com estudos sobre a atenuação devido ao espalhamento por aerossóis, interações entre radiação e nuvens.

OBSERVAÇÕES / REMARKS

Trabalho apresentado no Simpósio Latino-americano de Sensoriamento Remoto (IV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto e IV Reunión Plenária SELPER) realizado no período de 10 a 15 de agosto de 1986 em Gramado, RS, Brasil.

ABSTRACT

The meteorological data extraction techniques improvement, using meteorological satellites, together with the existing very sparse basic meteorological network in Brazil, has motivated a greater interest in the development of these techniques. In particular, the problem of estimative of solar radiation incident on the earth's surface has been studied using the GOES satellite visible channel imagery. In this study, based on a field experiment (São José dos Campos, April-May, 1985), comparisons among instantaneous and integrated (daily) estimations, obtained by satellite, piranometer, sunshine observations and conventional models (based on surface meteorological data) were done. Taking into consideration the spatial and temporal resolution together with the geographical coverage furnished by the satellite and the error (14% for clear sky and cirrus, and 35% for cloud sky) found in this work, it was concluded that the satellite indirect method is the most practical of all. Furthermore, the tests indicated that this estimative can be improved with studies about the attenuation due to aerosol scattering and interactions between radiation and cloud.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a colaboração dos Srs. Jorge Luiz Martins Nogueira e Pedro Rubens A. de Carvalho pela montagem do SAAD. - Agradecemos também as sugestões e cuidadosa revisão técnica feita pelo Sr. Nelson Arai e Dr. Yeliseti Viswanadham e a datilografia pela Sra. Sueli A. F. V. Camargo Pinto.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	<i>viii</i>
LISTA DE TABELAS	<i>ix</i>
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - METODOLOGIAS	2
3 - DADOS	2
4 - RESULTADOS	3
5 - CONCLUSÃO	12
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Radiação solar instantânea incidente na superfície terrestre registrada por piranômetro e estimada através dos métodos indiretos convencional e via satélite: a) céu limpo praticamente durante todo o dia; b) céu com nuvens durante todo o dia.....	5
2 - Relação entre a radiação solar global, estimada através do método indireto via satélite, e a registrada por piranômetro.....	6
3 - Radiação solar global integrada durante o dia (áreas parciais)	11

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1 - Comparação entre totais de radiação solar global, obtidos através do método semidireto e registrados por piranômetros	7
2 - Comparação entre totais de radiação global, obtidos através do método indireto convencional e registrados por piranômetro.....	8
3 - Comparação entre totais de radiação global, obtidos através do método indireto via satélite e registrados por piranômetro	9
4 - Totais integrados para situação de céu limpo, obtidos através de análise com o método indireto via satélite (sem e com alterações).....	11

1 - INTRODUÇÃO

A radiação solar incidente no sistema terra-atmosfera é responsável pela manutenção da maioria dos processos naturais existentes no planeta, sendo portanto essencial aos seres vivos. O conhecimento da radiação solar com melhor resolução espacial e temporal possibilitará o aprimoramento de estudos em áreas como: Agricultura; armazenamento de energia da atmosfera; superfície e oceano; fontes alternativas de energia e outras. Visando complementar as informações da escassa rede solarimétrica existente no Brasil (Instituto Nacional de Meteorologia-INMET), têm sido direcionados esforços para determinar a radiação solar com a utilização de satélites meteorológicos do tipo geostacionário.

As imagens digitais utilizadas neste trabalho são provenientes do satélite GOES-Oeste, que foi deslocado para leste temporariamente até o lançamento do satélite que substituirá o GOES-Leste (a variado).

O satélite GOES possui resolução espacial no ponto subsatélite, de aproximadamente 7 x 3km no canal infravermelho e de aproximadamente 0,3 x 0,8km no canal visível (Hambrick and Phillips, 1980).

A utilização do canal visível do satélite geostacionário possibilita a análise da radiação solar incidente na superfície terrestre de uma maneira mais abrangente (cobertura geográfica). Este canal observa as interações da radiação solar com o sistema terra-atmosfera como um todo, fornecendo dados de distribuição de cobertura de nuvens. Portanto, uma metodologia que utilizasse imagens de satélite possibilitaria um estudo mais econômico e centralizado da radiação solar em todo território nacional.

O principal objetivo deste trabalho consiste em comparar a estimativa da radiação solar incidente na superfície terrestre, obtida com a utilização de imagens do canal visível do satélite geostacionário GOES, com os dados de verdade terrestre e com a radia

ção solar calculada através de metodologias empíricas.

2 - METODOLOGIAS

Estudos de métodos que estimam a radiação solar utilizando imagens de satélites geostacionário têm sido desenvolvidos e implementados basicamente com dois enfoques: físico e estatístico.

Neste estudo, utiliza-se o modelo físico de Gautier et alii (1980), que considera os efeitos de absorção do vapor d'água e o espalhamento como isotrópico, e a absorção e espalhamento por nuvens. Este modelo físico já se encontra implementado no INPE (Arai e Almeida, 1982 e 1985). Na comparação dos dados obtidos por piranômetro e por satélite, utiliza-se o algoritmo de navegação de imagens de satélites desenvolvido por Hambrick e Phillips (1980) e implementado no INPE por Conforte et alii (1983).

Este modelo, classificado como método indireto via satélite foi comparado com os aqui chamados métodos direto (medidas de piranômetros); semidireto, que utiliza horas de brilho solar (Bennett, 1965); e indireto convencional, que utiliza medidas meteorológicas convencionais (Brooks, 1959; Schulze, 1976).

3 - DADOS

Os dados utilizados no presente trabalho foram coletados no experimento realizado entre 27 de abril e 09 de maio de 1985 em São José dos Campos, SP, Brasil (Lat. $23^{\circ}14'S$; Long. $45^{\circ}51'W$; Alt. 344m).

Neste experimento, utilizando um sistema automático de aquisição de dados foram coletados a cada minuto, com piranômetros espectrais Eppley, medidas de radiação solar global ($0,28$ a $2,6\mu m$), difusa e em duas faixas dentro do espectro visível ($0,495$ a $2,8\mu m$ e $0,71$ a $2,8\mu m$). Esta diferença (espectral) situa-se próximo à faixa do canal visível do satélite GOES ($0,55$ a $0,75\mu m$). Estes dados e os de pressão

atmosférica local foram registrados em disco flexível. Durante este mesmo período, foram feitas gravações de imagens de satélite a cada 30 minutos, além de observações de coberturas de nuvens, direção e intensidade do vento, presença de material particulado e umidade na superfície.

4 - RESULTADOS

Foram realizadas comparações de medidas instantâneas da radiação solar (global) estimada através dos métodos indiretos em relação aos dados de verdade terrestre (piranômetros). Esta comparação é mostrada na Figura 1.

No método indireto convencional, a radiação solar global foi obtida através do modelo de Brooks (1959) e de Schulze (1976), que estimam a radiação solar direta e difusa, respectivamente. O modelo de Brooks (1959) é válido somente para a situação de céu limpo, e suas variáveis são: conteúdo de água precipitável; pressão na superfície; e parâmetro de poeira. A variável conteúdo de água precipitável é obtida através da formulação de Smith (1966), adaptada para o Hemisfério Sul por Viswanadham (1981). Esta formulação possui como variável de entrada a temperatura do ponto de orvalho na superfície. A variável "parâmetro de poeira" é inferida a partir da equação de Brooks (1959) e dos dados de superfície. Na análise das variáveis deste modelo, o parâmetro de poeira mostrou ser o termo mais influente na estimativa da radiação solar. O modelo de Schulze (1976), também restrito à situação de céu limpo, possui como variável o ângulo solar zenital e é dependente da radiação solar difusa média ao meio dia local.

Como pode ser visto na Figura 1a, a radiação solar global (radiação direta + radiação difusa) calculada pelo método indireto convencional (indicado por Δ) apresentou ótima concordância (coeficiente de correlação (r) de 0,98) com o método direto (registro de piranômetro). Este resultado se deve ao fato de que no modelo de Brooks (1959), que estima a radiação solar direta, é feito um ajuste do parâmetro de poeira aos dados de superfície. Segundo Schulze (1976), o parâmetro de poeira é dependente do estado local da atmosfera e, em seus estu

dos, o máximo valor determinado foi 3, que difere do valor de 6,1 obtido para São José dos Campos; o que demonstra a importância da estimativa do fator de poeira para alcançar bons resultados. A radiação solar difusa apresentou alto erro ($r = 0,50$), mas ela não é muito influente no cálculo da radiação solar global por representar apenas 15% desta.

Na análise da radiação instantânea do método indireto via satélite, foi verificada uma superestimativa da radiação solar global (Figura 1), com os maiores erros ocorrendo em situações com nuvens (Figura 1b), principalmente quando a cobertura de nuvens possui características óticas diferentes na trajetória da radiação solar incidente no piranômetro e na trajetória da radiação refletida para o satélite (cones de observação). Os resultados mostraram, como Taylor e Stowe (1984) verificaram, que é inviável a estimativa da radiação solar por satélite para ângulos zenitais maiores do que 60 graus. Além disto, foi observada a ocorrência de maiores erros no período da tarde (Figura 2).

Os erros maiores na parte da tarde podem ter ocorrido devido ao aumento da concentração de aerossóis durante o dia, causado pela intensa atividade industrial de São José dos Campos que acarreta um aumento na atenuação da radiação solar. Este aumento na concentração de aerossóis não é levado em consideração no modelo físico (Gautier et alii, 1980). Nele, utiliza-se o coeficiente de espalhamento determinado por Paltridge (1973), que é função somente do ângulo solar zenital (caminho ótico), conseqüentemente o coeficiente é simétrico em relação ao meio-dia. O aumento de concentração de aerossóis na atmosfera é confirmado pelo método indireto convencional, pois ao analisar a variação do "parâmetro de poeira" no decorrer do dia, foi observada a ocorrência dos maiores valores à tarde.

A superestimativa da radiação solar global no método indireto via satélite, na realidade, é menor, pois a determinação do fator de conversão para a transformação da faixa espectral do canal visível do satélite GOES (0,55 a 0,75 μm) para a faixa global do piranômetro (0,28 a 2,8 μm) foi obtida pela relação calculada para o topo da atmosfera.

ra. Esta determinação do fator de conversão implica uma superestimativa, pois não são considerados os fatores de atenuação atmosférica que ocorrem fora da banda do canal visível do satélite.

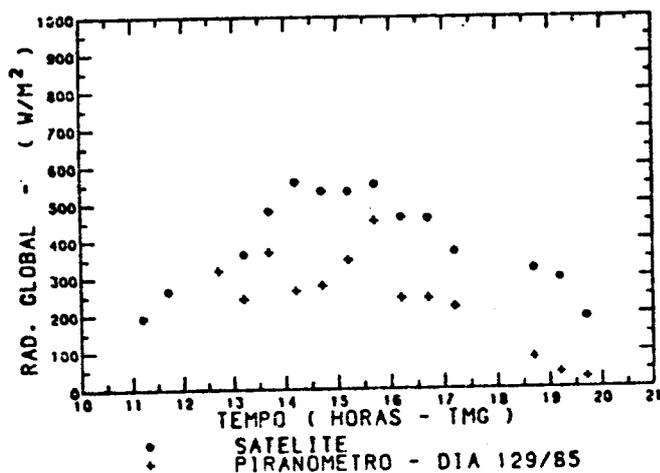
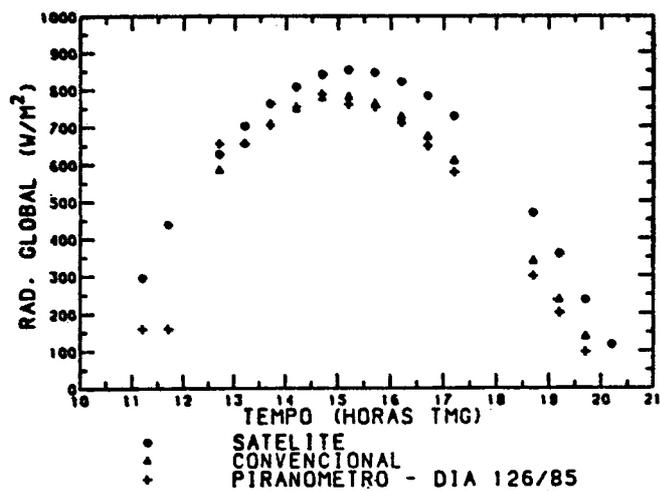


Fig. 1 - Radiação solar instantânea incidente na superfície terrestre, registrada por piranômetro e estimada através dos métodos indiretos convencional e via satélite: a) céu limpo praticamente durante todo o dia; b) céu com nuvens durante todo o dia.

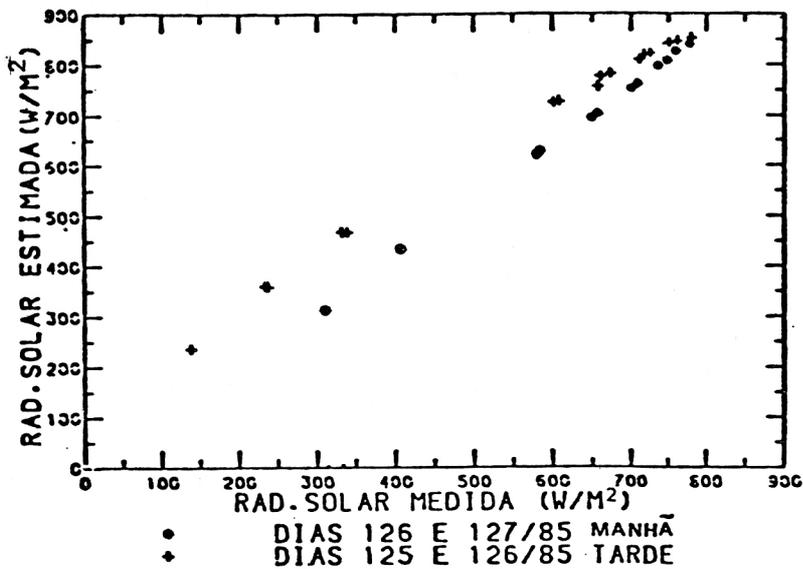


Fig. 2 - Relação entre a radiação solar global, estimada através do método indireto via satélite, e a registrada por piranômetro.

Na análise da radiação solar global diária, estimada pelo método semidireto, pressupôs-se que os coeficientes mensais do modelo de Bennett (1965), cujas variáveis são horas de brilho solar e altitude, fossem representativos dos dias estudados. Com esta suposição calculou-se o total diário da radiação solar global e comparou-se este total com os valores de verdade terrestre. Esta comparação pode ser vista na Tabela 1, onde se verifica que o erro relativo apresentou uma variância de 13,30 ao se excluir os dias julianos 118 e 120. Nestes dois dias, que apresentaram erros relativos altos, observou-se que a cobertura de nuvens era variável ao longo do dia, com períodos encobertos próximos ao meio dia local. Isto sugere que na análise da radiação solar global diária, com a utilização do método semidireto, sejam atribuídos pesos aos diversos horários durante o dia.

Os cálculos dos totais diários para os métodos direto e indireto foram obtidos integrando em áreas parciais (método do trapézio) as estimativas instantâneas.

TABELA 1

COMPARAÇÃO ENTRE TOTAIS DE RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL, OBTIDOS ATRAVÉS DO MÉTODO SEMIDIRETO E REGISTRADOS POR PIRANÔMETRO

DIA JULIANO	SEMIDIRETO (SD) 60* kJm ⁻² /dia	REGISTRADA (R) 60* kJm ⁻² /dia	ERRO RELATIVO (SD-R)/R (%)
118*	244,42	152,51	60,26
119	228,42	247,25	-7,62
120*	176,15	133,75	31,70
124	198,00	197,18	0,42
125	245,27	243,65	0,66
126	274,76	286,80	-4,20
127	275,20	279,88	-1,67
129	94,17	103,37	-8,90
			ERRO MÉDIO RELATIVO = 3,91 σ = 13,30

* Eliminado no cálculo do erro relativo médio.

A radiação solar global obtida através do método indireto convencional apresentou pequenos erros (Tabela 2) devido ao ajuste do "parâmetro de poeira", como mencionado anteriormente.

Ao analisar o total integrado da radiação solar global, com a utilização do método indireto convencional, e supondo que o valor do parâmetro de poeira para São José dos Campos fosse o valor máximo (3,0), obtido por Schulze (1976), foi verificado um erro relativo de 19,92% (variância de 14,48). Este erro foi maior do que o obtido quando se utilizou o parâmetro de poeira determinado para esta região (6,1), o que indica que o valor aqui calculado é representativo desta região e da época em questão.

TABELA 2

COMPARAÇÃO ENTRE TOTAIS DE RADIAÇÃO GLOBAL OBTIDOS ATRAVÉS DO MÉTODO
INDIRETO CONVENCIONAL E REGISTRADOS POR PIRANÔMETROS

G L O B A L			
DIA	ESTIMADA $60 \text{ km}^2 \text{ dia}^{-1}$	REGISTRADA $60 \text{ km}^2 \text{ dia}^{-1}$	ERRO RELATIVO (E-R)/R (%)
114	253,98	262,19	- 3,13
117	97,07	103,47	- 6,19
118	101,26	101,76	- 0,49
119	113,98	117,30	- 2,83
124	163,48	177,07	- 7,68
125	148,41	146,23	1,49
126	268,79	265,87	1,10
127	258,33	259,58	- 0,48
128	156,15	153,78	1,54
			ERRO RELATIVO MÉDIO = 2,77 $\sigma = 6,54$

A Tabela 3 apresenta a integração diária das estimativas instantâneas da radiação solar na faixa do canal visível, obtida pelo método indireto via satélite, considerando somente as estimativas com ângulos zenitais menores que 60 graus. Verificou-se que para situações de céu limpo ou com cirrus tênues (dias julianos 118, 126, 127 e 128) o erro relativo médio foi de 14%, enquanto para situações com cobertura variável o erro aumentou para 35%. Os altos erros em dias com nuvens é devido principalmente à existência de coberturas distintas nos cones de observação.

TABELA 3

COMPARAÇÃO ENTRE TOTAIS DE RADIAÇÃO GLOBAL, OBTIDOS ATRAVÉS DO MÉTODO
INDIRETO VIA SATÉLITE E REGISTRADOS POR PIRANÔMETRO

DIA JULIANO	INDIRETO VIA SATÉLITE (IS) 60*kJm ⁻² /dia	REGISTRADA (R) 60*kJm ⁻² /dia	ERRO RELATIVO (IS-R)/R (%)
118	16,356	14,466	13,06
119**	49,733	41,809	18,95
120*	4,027	2,902	38,77
124**	46,871	36,420	28,70
125**	46,540	33,524	38,83
126	53,469	47,007	13,75
127	52,311	46,495	12,51
128	29,297	25,344	15,60
129*	25,492	17,238	47,88

* situação com cobertura de nuvens durante todo o dia.

** alguns períodos com cobertura de nuvens.

Como explicado para o caso da Figura 2, na realidade os erros encontrados na Tabela 3 são menores. Esta diferença é devida à subestimativa da radiação solar causada pela conversão da faixa global para a faixa do canal visível do satélite GOES.

O erro introduzido, ao fazer este tipo de conversão para o topo da atmosfera, foi analisado com um conjunto de dados existentes para Balboa, Zona do Canal do Panamá entre abril e maio de 1976. Nesta análise, verificou-se que este erro era da ordem de 5% para situações de céu limpo.

Ao analisar as variáveis no método indireto via satélite, identificou-se o coeficiente de reflexão direta como o termo mais influente na estimativa da radiação solar para situações de céu limpo. Testes com os dias julianos 125 (parte da tarde), 126 (após às 10:00h) e 127 (parte da manhã) mostraram melhores estimativas da radiação solar com alterações nestes coeficientes. Os resultados desta correção, como também as correções de 5% nos dados de verdade terrestre, podem ser visto na Tabela 4.

A intercomparação da radiação solar diária estimada através dos três métodos: semidireto; indireto convencional e indireto via satélite, em relação ao método direto encontra-se apresentada na Figura 3. Na integração foram analisados somente os períodos sem nuvens. Através da Figura 3, observa-se que: o método indireto convencional apresentou o menor erro, isto devido ao ajuste do parâmetro de poeira; o método semidireto apresentou alta variância, portanto, não é confiável para estimativas diárias; e o método indireto via satélite superestimou os resultados em torno de 14%.

Uma análise mais completa dos resultados encontra-se no trabalho de Moraes (1986).

TABELA 4

TOTAIS INTEGRADOS PARA SITUAÇÃO DE CÉU LIMPO, OBTIDOS ATRAVÉS DE ANÁLISE COM O MÉTODO INDIRETO VIA SATÉLITE (SEM E COM ALTERAÇÕES)

Dia Juliano	ERRO RELATIVO DAS ANÁLISES		
	Original (%)	Com correção de 5% nos dados de superfície (%)	Com correção no parâmetro (coeficiente de reflexão direta $(\alpha \approx 0,03)$) (%)
125	18,29	12,66	14,11
126	18,76	13,11	15,03
127	11,36	6,06	7,46

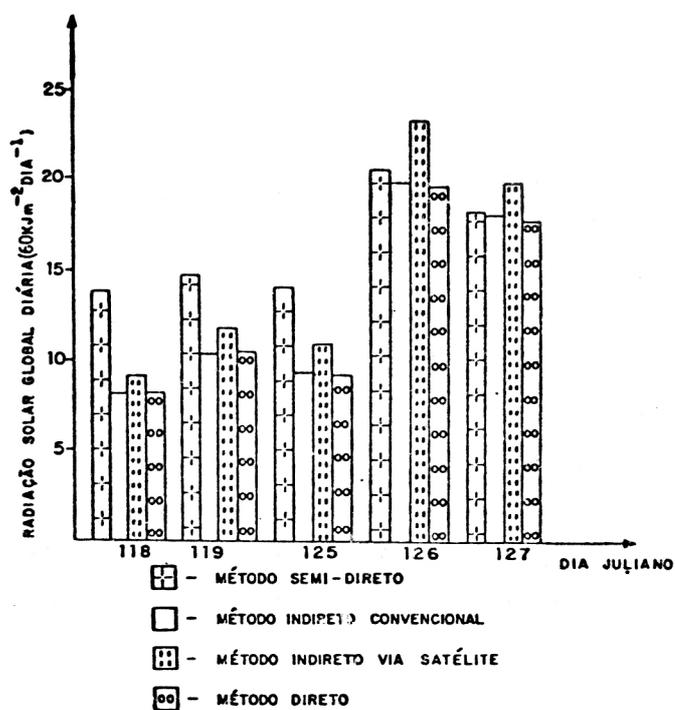


Fig. 3 - Radiação solar global integrada durante o dia (áreas parciais).

5 - CONCLUSÃO

Dos três métodos analisados verificou-se que o método semidireto é o menos confiável, talvez devido à não-consideração do período do dia em que ocorre a cobertura do Sol.

O método indireto convencional, válido somente para céu limpo, apresentou os melhores resultados, isto por ser uma de suas variáveis (parâmetro de poeira) inferida a partir dos próprios dados de radiação solar incidente na superfície terrestre. A obtenção de forma indireta do parâmetro de poeira limita a aplicação deste método a regiões onde há coletas regulares, durante o dia, dos dados necessários ao modelo.

O método indireto via satélite superestimou os resultados em aproximadamente 14%. Como discutido anteriormente, este erro pode ser diminuído se for feita uma correção por ocasião da conversão da faixa de sensibilidade do satélite para a faixa global, obtida no topo da atmosfera.

O método indireto via satélite também pode ser aprimorado determinando os valores do coeficiente de reflexão direta mais representativos para esta região em estudo. No trabalho de Gautier et alii (1980) são utilizados os valores destes coeficientes definidos por Paltridge (1973). Estes coeficientes foram obtidos para o oceano rugoso, e, segundo alguns testes realizados neste trabalho, não são os ideais para regiões continentais.

Na análise das variáveis dos métodos indiretos foi verificado que, para situação de céu limpo, a concentração de aerossóis e gases são os fatores mais influentes na atenuação atmosférica. A variabilidade destes parâmetros durante o dia influi na estimativa da radiação solar obtida por satélite, não tendo sido levado em consideração neste método.

Comprovou-se ainda a inviabilidade da utilização do método indireto via satélite na estimativa da radiação solar para ângulo

los zenitais maiores que 60 graus.

Este estudo indicou que o método indireto via satélite é mais eficiente na estimativa da radiação solar, tanto instantânea como diária, pois além da alta resolução espacial e temporal possibilitou a análise da radiação solar sobre qualquer condição de cobertura de céu.

O desenvolvimento e aprimoramento desta técnica de estimar a radiação solar incidente na superfície terrestre, utilizando satélite geostacionário, possibilitará um reestudo sobre a manutenção e expansão da atual rede solarimétrica do País.

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 satélites para céu claro ou encoberto*. São José dos Campos, INPE, 1985 (INPE-3390 PRE/661).
- BENNETT, I. Monthly maps of mean daily insolation for the United States. *Solar Energy*, 9(3):145-152, Mar. 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 geostacionários*. São José dos Campos, INPE, 1983 (INPE-2772-RPE/435).
- 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.
- 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 NESIII, Washington, 1980.
- MORAES, E. C. *Comparação entre métodos de estimativa da radiação solar: satélite convencional*. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos, INPE, Mar. 1986 (INPE-4025-TDL/242).
- PALTRIDGE, G. W. Direct measurement of water vapor absorption of solar radiation in the free atmosphere. *Journal of Atmospheric Sciences*, 30(1):156-160, Jan. 1973.

- SCHULZE, R. E. A physically based method of estimating the total solar radiation from suncards. *Agricultural Meteorology*, 16(2):85-101, Feb. 1976.
- SMITH, W. L. Note on the relationship between total precipitable water and surface dew point. *Journal of the Applied Meteorology*, 5(5):726-727, May 1966.
- TAYLOR, V. R.; STOWE, L. L. Reflectance characteristics of uniform earth and cloud surfaces derived from NIMBUS-7 ERB. *Journal Geophysical Research*, 89(D4):4987-4996, 1984.
- VISWANADHAM, Y. The relationship between total precipitable water and surface dew point. *Journal of the Applied Meteorology*, 20(1):1-8, Jan. 1981.