

## MODELO DE ESTIMATIVA DE RADIAÇÃO SOLAR POR SATÉLITE NO CPTEC: VERSÃO GL1.2

**Juan Carlos Ceballos e Marcus Jorge Bottino**

CPTEC / INPE – 12630 Cachoeira Paulista – SP

e-mails: [ceballos@cptec.inpe.br](mailto:ceballos@cptec.inpe.br) e [bottino@cptec.inpe.br](mailto:bottino@cptec.inpe.br)

### Abstract

It was found that top-of-atmosphere solar flux as well as transmittance in ultraviolet interval 0.3-0.4  $\mu\text{m}$  are not negligible, leading to systematic underestimation of ground values assessed by the CPTEC's GL1.1 model (which assesses solar radiation based on GOES 8 imagery). It is shown that a simple correction including this flux satisfactorily corrects that error.

### Introdução

A estimativa de radiação solar por satélite é um método atraente, porque pode permitir o monitoramento deste recurso natural com bastante detalhe sobre grandes áreas a um custo que se reduz ao de recepção, gravação e processamento de imagens a cada meia hora. As aplicações são múltiplas, e vão desde a estimativa de saldos de radiação à superfície para fins de análise climática e agroclimática, até o gerenciamento de irrigação e aproveitamento energético do potencial solar. Diversos modelos são aplicados operacionalmente no mundo, e exibem desde características simples quase-empíricas (frança), até outras mais complexas como que incluem divisão da atmosfera em camadas e soluções da equação de propagação em vários intervalos espectrais (Pinker, IGMK). O modelo GL (por *GLobal*) foi desenvolvido no Brasil e instalado no CPTEC em 1998, e utiliza-se de imagens GOES Imager no canal visível. Da mesma forma que os citados anteriormente, consiste de um modelo *físico* (por contraposição aos modelos *estatísticos*), no sentido de não ajustar expressões empíricas baseadas na relação entre refletância observada em imagens de satélites e radiação à superfície medida por redes solarimétricas. O modelo considera modelos físicos de propagação, e deduz a irradiância à superfície a partir da refletância observada. Deve-se observar que os modelos físicos incluem, necessariamente, parâmetros atmosféricos como água precipitável, conteúdo de ozônio, carga de aerossol provenientes de informações meteorológicas. Nesse sentido, a comparação de resultados com os valores medidos à superfície

A versão GL1.1 (Ceballos *et al.* 2000) considera o espectro solar em duas bandas largas: visível em (0,4-0,7  $\mu\text{m}$ ) e infravermelho em (0,7-2,8  $\mu\text{m}$ ):

- Na primeira, a propagação de radiação solar é considerada conservativa (sem absorção) na troposfera. Apenas, considera-se absorção pelo ozônio na estratosfera, aplicada à radiação direta incidente no topo da atmosfera e ao fluxo direcional refletido que emerge na direção do satélite. A radiação emergente do planeta é considerada isotrópica.
- No infravermelho solar, considera-se que o ar não dispersa radiação direta. Assim, o solo recebe radiação direta passando entre nuvens (com parte do fluxo absorvido pelo vapor d'água e pelo dióxido de carbono), ou difusa que consegue atravessar as nuvens. Uma correção é aplicada para reflexões progressivas entre o solo e a base de nuvens. Considera-se que a transmitância de nuvens para radiação infravermelha é desprezível, devido à elevada refletância e à forte absorvância de nuvens neste intervalo espectral.

A figura 1 apresenta um esquema dos fluxos radiativos considerados na versão GL1.1.

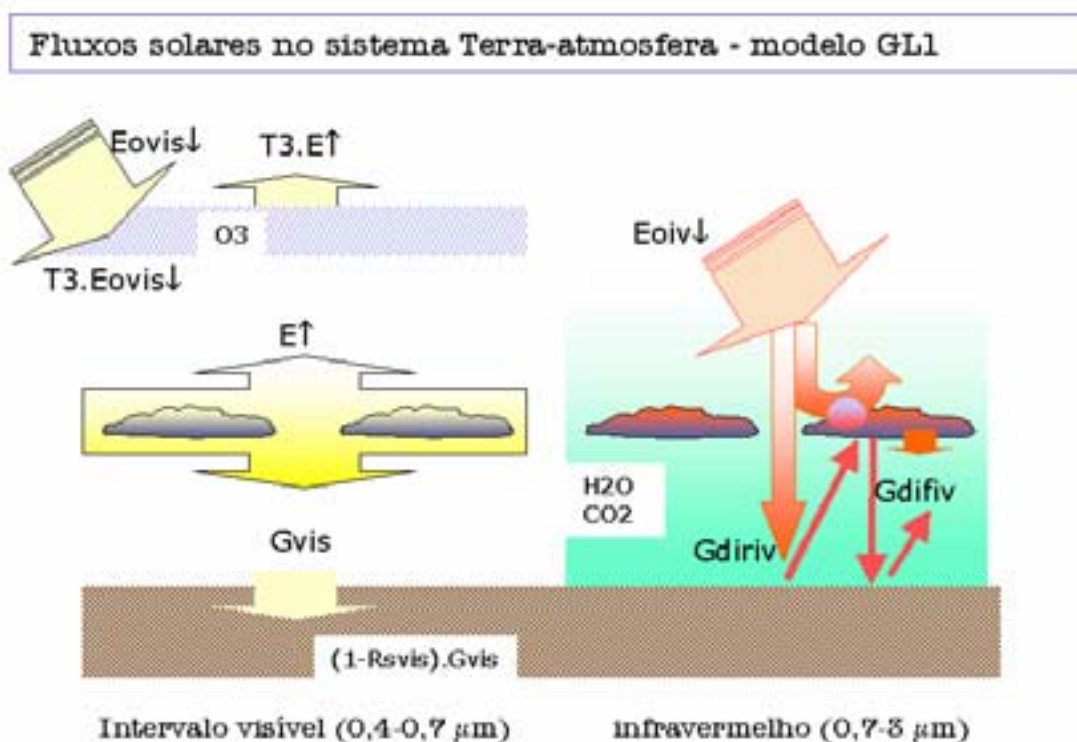


Figura 1. Esquema de fluxos considerado pelo modelo GL, versão 1.1.

Dois elementos básicos do modelo podem afetar sua precisão (além da consideração de ausência de aerossol):

- O sensor do canal VIS do GOES-8 sofre degradação progressiva e sua constante de calibração deve ser reavaliada continuamente (página do GEWEX).
- O fluxo de radiação no espectro ultravioleta (definido com comprimentos de onda  $\lambda < 0,4 \mu\text{m}$ ) considera-se nulo (devido às bandas de absorção forte do ozônio).

De fato, validações realizadas para novembro de 2000 mostraram que a irradiância diária média teria um erro sistemático negativo com relação a medidas à superfície. A aplicação do *software* SBDART (Richiazzi *et al.* 2000) para fluxos em altitudes superiores a 17 km permite evidenciar que a irradiância descendente nesse nível nas bandas de Huggins ( $0,3 < \lambda < 0,4 \mu\text{m}$ ) não é desprezível. No presente trabalho ilustram-se resultados preliminares de uma correção adicional do modelo GL1.1 conduzindo a uma versão GL1.2.

## Materiais e métodos

Consideraram-se imagens VIS do GOES-8 para o mês de novembro de 2000. A verdade terrestre para referência consistiu das irradiações diárias da rede de Plataformas de Coletas de Dados gerenciada pelo setor de coleta de dados por satélites da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA/CPTEC/INPE). Foram escolhidas as estações do Vale do Paraíba e algumas de Minas e São Paulo, cuja manutenção é realizada pela própria DSA.

O modelo GL1.1 considera a ação do ozônio concentrada na estratosfera, absorvendo (sem dispersão) radiação direta incidente, e radiância emergente na direção do satélite. A fração da constante solar associada ao UVB é  $f_B = 0,075$  (com transmitância não desprezível), enquanto que no UVA tem-se  $f_A = 0,012$  com escassa transmitância. Com base nas parametrizações apresentadas por Lacis e Hansen (1974), para o intervalo ultravioleta pode ser escrito que

$$\gamma_B T_{uvb}(\mu_o) = (\gamma_A + \gamma_B) \cdot T_{uv}(\mu_o),$$
$$1 - T_{uv}(\mu_o) = w[1.082 (1 + 138.6 x)^{-0.805} + 0.0658 (1 + (103.6 x))^{-1}]$$

onde  $\mu_o$  = cosseno do ângulo de incidência ou de emergência da radiação solar. A transmitância obtida pode ser adicionada ao fluxo no visível considerado pelo modelo GL1.1, obtendo-se naturalmente uma versão GL1.2.

A correção foi aplicada para o mês considerado, e os resultados comparados com os da versão GL1.1.

### Resultados

As figuras 2 ilustram os resultados das versões GL1.1 e GL1.2 para as estações escolhidas. Percebe-se que o GL1.1 exibe um erro sistemático negativo, que poderia ficar disimulado para uma estação em particular devido às flutuações diárias da irradiação.

A figura 3 mostra as médias mensais das estações. Percebe-se claramente o erro sistemático no GL1.1, e que o GL1.2 praticamente tem corrigido esse erro.

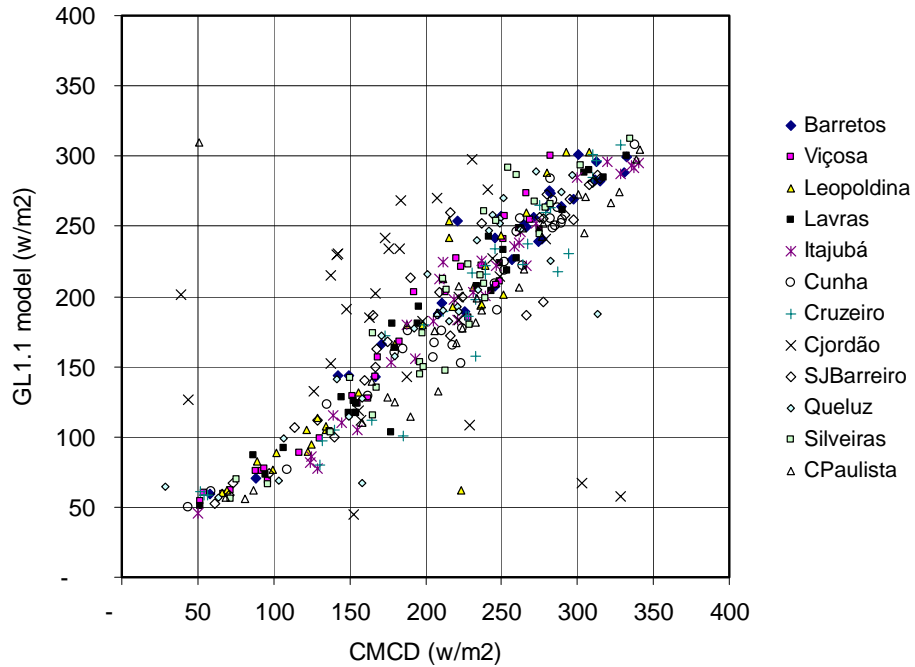
### Conclusões

Um modelo simples como o GL tem um desempenho comparável com de outros mais sofisticados. Todavia, evidencia-se que a contribuição do ultravioleta B deve ser incluída. A versão GL1.2 executa esta tarefa de forma simples e sem modificar essencialmente a versão GL1.2.

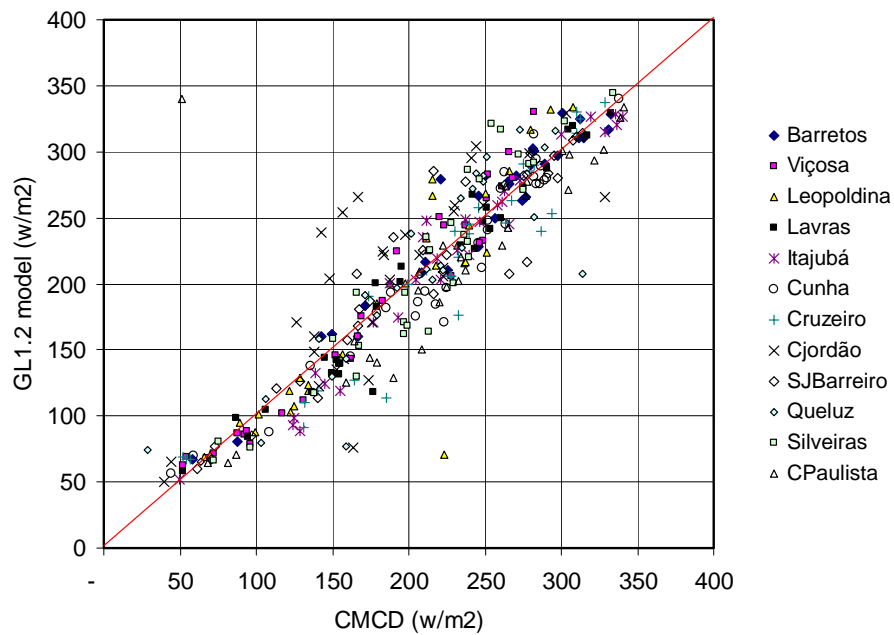
Análises sistemáticas devem ser realizadas, considerando-se ainda a influência possível da degradação do sensor do canal visível. A falta de uma correção na constante de calibração pode conduzir a subestimativas adicionais do modelo.

### Referências bibliográficas

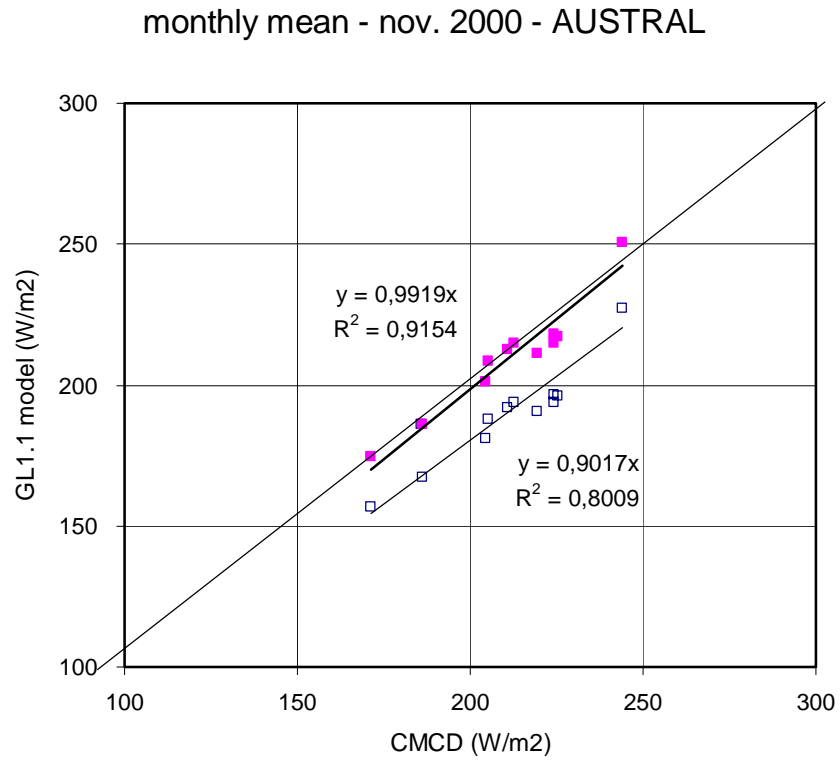
mean solar irradiance - nov. 2000 - AUSTRAL



mean solar irradiance - nov. 2000 - AUSTRAL  
(45S-20S)



Figuras 2. Irradiâncias médias diárias avaliadas pelas versões GL1.1 e GL1.2



**Figura 3.** Médias mensais para as estações escolhidas, segundo o modelo GL1.1 e o modelo GL1.2.