

## UM ESTIMADOR DA QUALIDADE DO MODELO GL-CPTEC DE RADIÇÃO SOLAR POR SATÉLITE

Juan C. Ceballos, Dr., [ceballos@cptec.inpe.br](mailto:ceballos@cptec.inpe.br)

Amanda M. Galvão, bolsista PIBIC, [amanda@cptec.inpe.br](mailto:amanda@cptec.inpe.br)

Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais - DSA  
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Aracaju – SE, 2007

**RESUMO.** O modelo GL avalia radiação solar na América do Sul com base em imagens GOES-VIS. É descrito um procedimento simples para realizar validação mensal. Usa-se os conjuntos de valores de irradiância média diária fornecidos pelo modelo e por várias redes de plataformas coletoras de dados (PCDs) no território brasileiro. Basicamente, dados com erros grosseiros são rejeitados e um refinamento adicional usa propriedades estatísticas simples de diferença (aleatória) entre GL e PCD. Os resultados mostram que, atualmente, o modelo GL exibe um viés médio de 0 a +2 W.m<sup>-2</sup> e desvios padrões típicos de 40 W.m<sup>-2</sup> para seqüências de dados diários.

**PALAVRAS-CHAVE:** radiação solar, satélites, GOES, validação, modelo GL, rede solarimétrica

**ABSTRACT.** Model GL estimates solar radiation over South America using GOES VIS imagery. We describe a simplified procedure for monthly validation. It uses the set of daily values of mean solar irradiance provided by model and by several networks of automatic stations (PCDs) over Brazilian territory. Basically, gross bias of measures and estimates are firstly rejected; a second refinement uses simple statistical properties of the (stochastic) difference between GL and PCD. Results show that, presently, GL model show a mean bias of 0 to +2 W.m<sup>-2</sup>. Typical values of standard deviation amount 40 W.m<sup>-2</sup> for daily sequences.

**KEY WORDS.** Solar radiation, satellite, GOES, validation, GL model, solarimetric network

### INTRODUÇÃO

O regime de radiação solar é de importância primordial para o desenvolvimento de coberturas vegetais, tanto no espectro fotossinteticamente ativo (radiação PAR, necessária para fotossíntese), como no espectro global (diretamente ligado a taxas de evapotranspiração). Historicamente, o dado disponível tem sido o de horas de sol (obtidas mediante heliógrafo). Nessas condições, apenas médias mensais têm alguma confiabilidade, e variações em escalas menores costumam não ser evidenciadas. Na última década, um esforço considerável na modernização da rede meteorológica brasileira permitiu a inclusão de estações automáticas que fornecem irradiância solar com frequência horária (rede do INMET; ver internet URL [http://www.inmet.gov.br/html/rede\\_obs.php](http://www.inmet.gov.br/html/rede_obs.php)), ou a cada três horas (rede associada ao SCD, Satélite de Comunicações de Dados, com dados processados no CPTEC/INPE; ver internet URL <http://tempo.cptec.inpe.br:9080/PCD/>). A integração diária destes últimos dados é fornecida no endereço [http://pyata.cptec.inpe.br:8080/pcd/consulta\\_radsol.jsp](http://pyata.cptec.inpe.br:8080/pcd/consulta_radsol.jsp)). Redes estaduais como a do Paraná têm considerável densidade espacial e frequência temporal de dados. Ainda,

um conjunto de bóias do projeto PIRATA fornece dados de radiação no Atlântico, disponíveis no endereço [http://pyata.cptec.inpe.br:8080/pcd/consulta\\_boia.jsp](http://pyata.cptec.inpe.br:8080/pcd/consulta_boia.jsp). Apenas estas quatro redes somam mais de 400 estações com dados no mínimo diários.

Áreas extensas do Brasil e da América do Sul ainda não dispõem de cobertura dentro de um raio de 100 km (aproximadamente 1° geográfico). As estimativas por satélite podem fornecer dados com resolução espacial elevada (da ordem de dezenas de quilômetros). Sua acurácia pode ser monitorada por comparação com a rede solarimétrica; reciprocamente, o modelo permitiria detectar funcionamentos anômalos na rede de superfície. O resultado geral deve traduzir-se num controle operacional da qualidade de ambas fontes de dados (satélite e piranômetros).

Este trabalho apresenta resultados de um método simples de controle sistemático de qualidade do modelo GL versão 1.2, utilizando-se “verdade de superfície” das redes SCD e INMET, aplicado a dados de final de 2006 e início de 2007.

## **CARACTERÍSTICAS DO MODELO GL**

Na sua versão atual (1.2 e 1.3) o modelo GL para estimativa de radiação solar global roda operacionalmente na DSA/CPTEC/INPE, estimando irradiância sobre América do Sul a partir de imagens GOES (sensor Imager). Diariamente são gerados arquivos de irradiância para cada imagem recebida, assim como para sua integral (irradiação) diária. A área de cobertura usando o GOES 12 se estende desde 100°W até 28°W, e desde 50°S até 22°S. Os arquivos têm resolução espacial de 0,04° (matrizes de 1800 × 1800 pontos de grade).

Na página internet <http://satelite.cptec.inpe.br/htmldocs/radiacao/fluxos/radsat.htm> está descrita a estrutura do modelo GL. Este não é do tipo “estatístico” (baseado em ajustes estatísticos entre brilho observado em imagens e radiação medida por uma rede de superfície), mas do tipo “físico”. Aplica as leis de propagação de radiação, adotando um conjunto mínimo de hipóteses sobre as propriedades físicas do sistema Terra-atmosfera. Uma descrição completa encontra-se em CEBALLOS *et al.* (2004). Uma série temporal de GL para o período 1998-2004 (CEBALLOS E BOTTINO 2006) mostrou que os valores médios de radiação exibem grande coerência espacial com as estimativas por satélite do modelo Brasil-SR (INMET 1998), e com resultados de uma extensa compilação de dados de superfície (TIBA 2001).

Foram escolhidos os meses de dezembro de 2006 e janeiro de 2007 para análise de validação. Para esta época, os dados originais provêm do GOES 12, aplicando-se correção de degradação de sinal proposta por NGUYEN *et al.* (2004).

## **MÉTODO DE COMPARAÇÃO COM A REDE DE SUPERFÍCIE**

São extraídas matrizes mensais de dados do GL para análise estatística. Os dados correspondem a  $N$  pontos dos arquivos de radiação do Modelo GL, localizados onde existem dados de superfície disponíveis, ou onde está prevista a instalação de novas estações, ou onde futuramente poderão ser obtidos dados. Atualmente, trabalha-se com  $N=429$  pontos (393 CPTEC, 36 INMET e 39 no Atlântico). São construídas as matrizes seguintes (a partir de arquivos de MODELO e de PCD em formato \*.txt):

- a) Matriz mensal MODELO, com dimensão  $N$  linhas por 36 colunas. As colunas contêm os dados ID (número de identificação), latitude, longitude, UF (estado: código numérico), classificação do local (tipo de rede, ou gerente dela), irradiação diária no local (31 colunas). Dados faltosos indicam-se com -9999.
- b) Matriz mensal PCD (Plataforma Coletora de Dados), com a mesma dimensão, contendo os dados de superfície. Obviamente, o número efetivo de PCDs é menor que  $N$ . Dados faltosos indicam-se com -9999.
- c) Matriz (temporária) de diferenças  $DIFF = MODELO - PCD$ , inicialmente nula.

- d) Matriz de estatística do sistema (ESTAT), contendo os resultados da análise.
- e) Matriz de observações (FLAGS), inicialmente nula.

A estatística é realizada em duas etapas.

*Primeira etapa.* Aplica-se um filtro grosseiro a cada elemento  $P(n,d)$  do conjunto de  $N \times 31$  valores de radiação [ $n$  = ID atribuído;  $d$  = dia do mês], impondo as seguintes condições: 1) existe valor nos elementos P do MODELO e também da PCD; 2) MODELO está no intervalo (30:400)  $W.m^{-2}$ ; 3) PCD está no intervalo (30:400)  $W.m^{-2}$ . A violação de alguma dessas condições implica na introdução de um código no elemento  $(n,d)$  da matriz FLAGS. Com os dados remanescentes MODELO e PCD, é preenchida a matriz de diferenças DIFF, com a condição  $|DIFF| < 120$ . A violação desta condição implica numa observação na matriz FLAGS. Realiza-se a primeira estimativa de média e desvio padrão do MODELO, das PCDs, e das diferenças DIFF, considerando apenas elementos P com *flag* nulo e número de dias não inferior a 10. Os resultados são incluídos na matriz ESTAT.

*Segunda etapa.* A seguir, aplica-se na matriz DIFF um filtro estatístico mais fino. Um teorema da teoria estatística demonstra que, dada a esperança matemática  $m$  e o desvio padrão  $s$  de uma distribuição de probabilidades qualquer, a probabilidade de um elemento da população se afastar da esperança  $m$  mais do que  $k$  vezes o desvio padrão deve ser inferior a  $1/k^2$ . Ou seja, sempre será inferior a 11% se  $k=3$ . Numa distribuição de Gauss seria de apenas 0,01. Dados a média  $m_1$  e o desvio padrão  $s_1$  (da primeira etapa) numa linha da matriz DIFF, são observados (marcados com *flag*) aqueles casos em que o elemento  $P(n,d)$  se afasta de  $m_1$  mais do que 3 vezes  $s_1$ . A seguir, calcula-se a média e desvio padrão dos elementos com *flag* nulo, com a condição de ter um número de dados não inferior a 10. Os resultados  $m_2, s_2$  diagnosticam o grau de aproximação entre o modelo e a estação.

## RESULTADOS E CONCLUSÕES

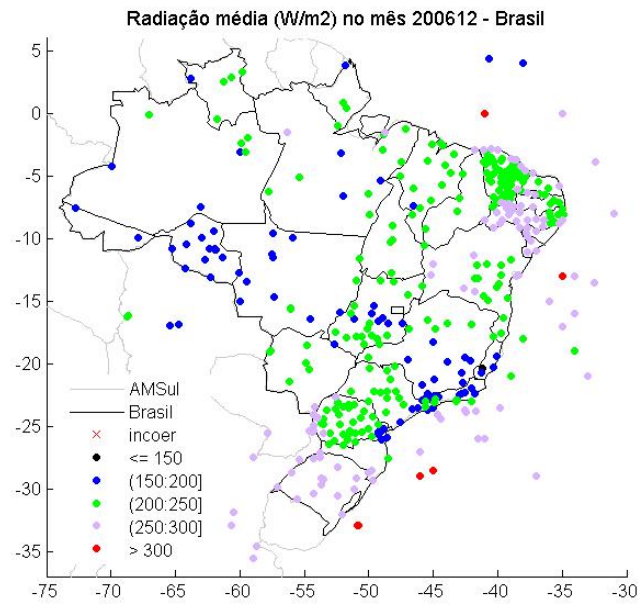
A Figura 1 ilustra a distribuição de média mensal de GL para esses locais. Foi aplicada apenas filtragem grosseira. Dentro de uma margem de 50  $W.m^{-2}$ , observa-se uma homogeneidade razoável sobre grandes áreas.

A Figura 2 ilustra a distribuição do DIFF médio mensal (estações SCD e algumas no INMET). As cruzes vermelhas indicam menos que 10 dias após filtro fino. Percebe-se que na maior parte do Brasil o viés do modelo situa-se entre: 0 e +20  $W.m^{-2}$  no norte do Nordeste; entre -10 e -30  $W.m^{-2}$  no Sudeste (mais Goiás); +20 a +30 na região amazônica. Estas diferenças regionais podem estar vinculadas a: 1) condições meteorológicas regionais específicas; 2) condições regionais que devem ser especialmente modeladas; 3) data de instalação da PCD (cujo sensor sofre progressiva degradação). Estes aspectos podem ser analisados a partir da validação de vários meses consecutivos.

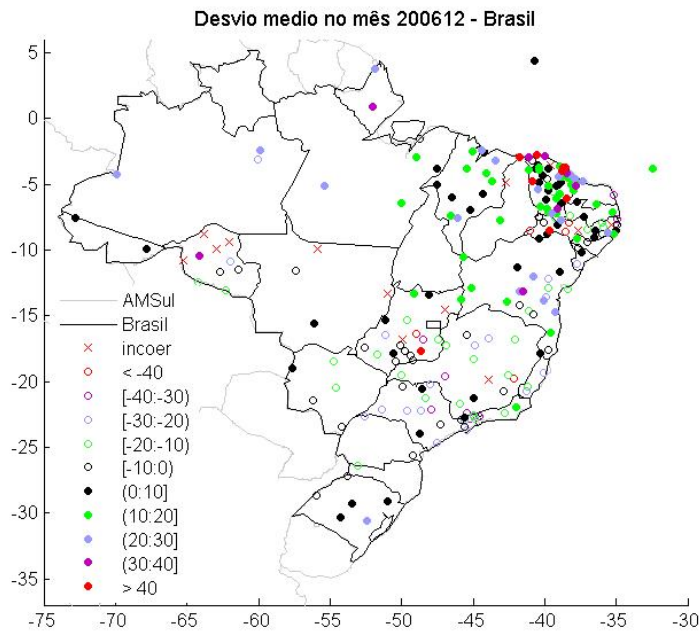
Na mesma Figura observa-se que alguns locais têm diferença considerável (símbolos em vermelho). As Figuras 3 e 4 ampliam a visão da distribuição, ilustrando o caso Nordeste em dois meses consecutivos. Percebe-se que algumas estações mantêm o desvio elevado (por exemplo: uma em Goiás, pelo menos 4-5 no Ceará e duas em Pernambuco); ainda, não foram ilustrados os pontos com menos de 10 dias (em clara situação irregular). Evidencia-se que a validação serve, também, para gerar alertas sobre PCDs com comportamento irregular ou atípico. A média geral dos desvios mensais para dezembro 2006 e janeiro 2007 é  $\langle m \rangle = +2$  e 0  $W.m^{-2}$  e a média dos desvios padrões é  $\langle s \rangle = 46$  e 37  $W.m^{-2}$ . Comparado com análises anteriores, este resultado sugere que: 1) desvios sistemáticos do modelo têm sido minimizados com correção apropriada do sinal de canal VIS; 2) as hipóteses simples adotadas no modelo são geralmente suficientes para se obter resultados satisfatórios para variados fins.

Conclui-se que o método é simples, mas fornece uma visão bastante clara (qualitativa e quantitativa) do comportamento médio do modelo; ele também identifica dados anômalos e sugere alertas de monitoramento da qualidade dos dados de superfície.

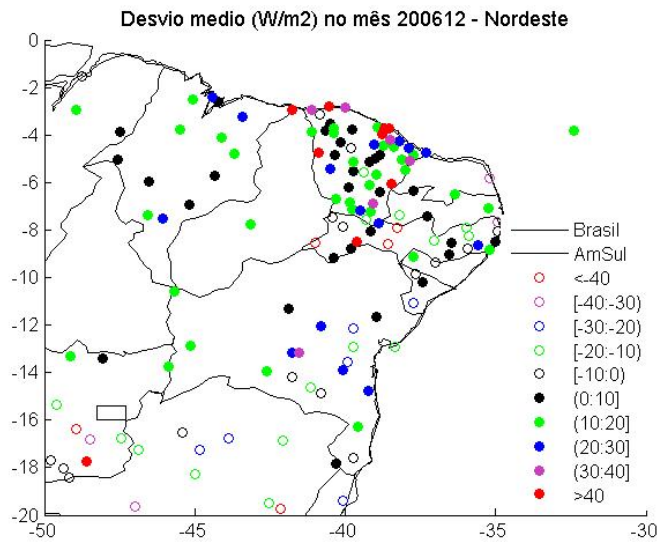
**AGRADECIMENTOS.** Os autores reconhecem o apoio do CNPq, através de bolsas de Produtividade Científica e Iniciação Científica.



**Figura 1.** Distribuição de irradiância média diária, modelo GL, dezembro 2006. São incluídos 429 locais (393 CPTEC, 36 INMET, 39 Atlântico).

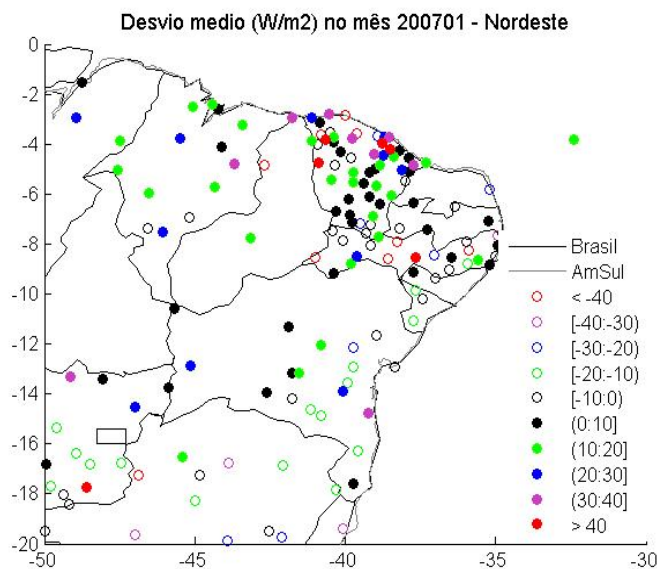


**Figura 2.** Produto final da validação: desvio médio mensal entre GL e PCD coerentes.



**Figura 3.** Desvio médio mensal entre GL e PCD (filtro fino). Região Nordeste do Brasil, dezembro 2006.

Não foram incluídos locais com incoerência (erros grosseiros; menos de 10 pares GL,PCD no mês).



**Figura 4.** Desvio médio mensal entre GL e PCD (filtro fino). Região Nordeste do Brasil, janeiro 2007.

Não foram incluídos locais com incoerência (erros grosseiros; menos de 10 pares GL,PCD no mês).

Observe-se que algumas estações repetem desvios elevados (positivos ou negativos) nos dois meses, sinalizando problemas de manutenção ou de calibração do piranômetro de superfície.

## REFERÊNCIAS

CEBALLOS, J.C. e M.J. BOTTINO. Solar radiation in South America, period 1998-2004: Some aspects of a satellite-based data base. **XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Florianópolis, SC. Anais em CD-ROM. 2006.

CEBALLOS, J. C., BOTTINO, M. J., Souza, J. M. A simplified physical model for assessing solar radiation over Brazil using GOES-E imagery. **J. Geoph. Res**, v. 109, D02211, doi:10.1029/2003JD003531, 2004.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e LABSOLAR (Laboratório de Energia Solar, Universidade Federal de Santa Catarina). **Irradiação solar do Brasil**. Brasília. 57 pp. 1998.

NGUYEN, L., D. R. DOELLING, P. MINNIS, J.K. AYERS. Rapid technique to cross calibrate satellite imager visible channels. **Earth Observing Systems IX Conference, International Symposium on Optical Science and Technology, SPIE 49th Annual Meeting**, Denver, CO, 2-6 August 2004. (Cópia disponível em URL <http://satellite.cptec.inpe.br/pesquisa/BIBLIO/biblio01.htm> ).

TIBA, CH. (Coordenador) 2001. **Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Terrestres**. Editora Universitária da UFPE, Recife, PE. 111 pp.