

RECONSTRUÇÃO DE SÉRIES DE RADIAÇÃO SOLAR NO SUL-SUDESTE DO BRASIL: UMA APLICAÇÃO DAS ESTIMATIVAS POR SATÉLITE

Juan Carlos Ceballos¹ e Marcus Jorge Bottino¹

Abstract

Apresenta-se a distribuição de irradiação solar baseada no modelo GL1.2 de estimativa por satélite, período setembro 2002-março 2003. A alta resolução espacial dos dados diários produzidos pelo modelo permite uma aplicação da análise em componentes principais, consistente em detectar regiões com comportamento específico das séries temporais na região, e a reconstrução de séries temporais a partir de um conjunto relativamente reduzido de informações, conservando a resolução espacial.

INTRODUÇÃO

A informação usual sobre radiação solar à superfície se limita a apresentar a distribuição geográfica de valores médios climatológicos, com resolução espacial de centenas de quilômetros. É reconhecida a falta de dados acurados de radiação solar na América do Sul. É freqüente dispor apenas de heliógrafos; neste caso, as estimativas de irradiação diária Q costumam utilizar equações simples como a de Angström-Prescott, podendo incluir ajustes de altitude; todavia, os resultados fazem sentido apenas como médias mensais. Uma alta resolução espacial e temporal forneceria informação mais apropriada para uma variedade de aplicações avançadas, como o monitoramento da evapotranspiração e disponibilidade de água em solos, ou análise de desempenho de coletores solares.

O uso de satélites geoestacionários oferece uma solução moderna para o monitoramento de radiação solar, desde que grandes áreas são observadas com alta resolução espacial e freqüência pelo menos horária. Modelos estatísticos de estimativa de Q diário (p.ex. Tarpley, 1979), relacionando refletância observada por satélite com irradiância à superfície, têm se mostrado menos eficientes que os modelos baseados na aplicação de leis físicas (p.ex. Gautier et al., 1980; INMET, 1998). O modelo GL1 desenvolvido no CPTEC processa imagens GOES-E com base em considerações físicas simples (Ceballos e Bottino, 2000). A versão GL1.2 fornece operacionalmente dados de irradiação média diária para a América do Sul e área oceânica adjacente, com resolução espacial de 3x3 pixels (12x12 km aprox.) desde setembro de 2002 (ver Home Page do CPTEC, www.cptec.inpe.br → satélites → produtos de satélites → radiação na atmosfera). O erro médio observado (escala mensal) é da ordem de 10 W.m⁻² com uma flutuação anual de ±10 W.m⁻² (Ceballos e Bottino, 2002; Ceballos et al., 2003).

O presente trabalho utiliza os dados do modelo GL1.2 para ilustrar o potencial da análise em componentes principais (ACP) na detecção de comportamentos “específicos” da radiação solar, assim como na redução de informação básica que ao mesmo tempo permita recuperar séries temporais de

Q com acurácia aceitável e alta resolução espacial. É descrito o período setembro 2002-março 2003 numa região que inclui especialmente os estados do Paraná, São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, além de áreas adjacentes do Paraguai, Uruguai e Argentina. O período representa basicamente as estações de primavera e verão na região.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi analisada a região entre 60°W e 40°W, 21°S e 35°S, período 01/09/2002-31/03/2003 processando médias espaciais de Q diário em 40x40 km, o que permite descrever a distribuição espacial na região e ao mesmo tempo minimizar a influência de efeitos micrometeorológicos não incluídos no modelo. O total de dados configurou uma grade de 1934 células com $T=212$ dados diários. Para fins de análise em componentes principais, foi realizada uma amostragem de $M=194$ células (separadas por menos de 70 km em latitude e 160 km em longitude).

Cada célula fornece a informação de radiação Q_{mt} ($m=1, \dots, M$; $t=1, \dots, T$), com média temporal $\langle Q \rangle_m$ e desvio padrão S_m . Consideramos as variáveis padronizadas

$$Y_{mt} = [Q_{mt} - \langle Q \rangle_m] / S_m \quad (1)$$

A análise em componentes principais (ACP) permite expressar a série Y mediante uma combinação linear de variáveis Z denominadas de componentes principais, de forma que (Johnson e Wiechern, 1982):

$$Y_{mt} = \sum_n a_{mn} Z_{nt} = \sum_n f_{mn} z_{nt}, \quad n=1, \dots, M \quad (2)$$

$$Z_{nt} = \sum_m a_{nm} Y_{mt} \quad (3)$$

As componentes Z ou sua versão padronizada z são estatisticamente independentes entre si (“ortogonais”), de forma que a série temporal da m -ésima célula (Y_{mt}) é descrita como combinação linear de comportamentos (“fatores”) independentes. Os coeficientes f_{mn} (“cargas fatoriais”) avaliam a correlação temporal entre Y_{mt} e Z_{nt} , e representam o “peso” de cada um destes comportamentos na composição de Y . Numericamente, f_{mn}^2 é a contribuição da n -ésima Z à variância da m -ésima irradiação padronizada Y . Formalmente, o conjunto de M células se corresponde com o mesmo número

(1) Centro de Previsão de tempo e Estudos Climáticos CPTEC/INPE – Cachoeira Paulista – 12630 SP e-mail: [ceballos, bottino]@cptec.inpe.br

de componentes Z . Entretanto, apenas um número $K \ll M$ destas já é capaz de representar satisfatoriamente a série Y na eq. (2). A distribuição geográfica das cargas f permite “regionalizar” a influência de cada um dos “fatores” (comportamentos) independentes agindo na região.

RESULTADOS E CONCLUSÃO

A figura 1 apresenta a radiação média diária no período considerado. Desvios padrões característicos são da ordem de 80 W.m^{-2} no norte da região, e atingem 100 W.m^{-2} ao sul.

Para a ACP foram processados dados diários e médias pentadais. Os resultados são semelhantes, mas o segundo caso permite melhor definir a influência de sistemas meteorológicos atuantes na região (tendo-se filtrado as flutuações com caráter mais local). Encontrou-se que as quatro primeiras CP's são responsáveis por 68% da variância total da grade, e por mais de 80% sobre o continente exceto em uma região que inclui o litoral norte de Santa Catarina e o do Paraná (esta região é influenciada também pela CP 5). A figura 2 ilustra a distribuição das cargas fatoriais associadas às três primeiras CP's. Observa-se que, por ela mesma, a primeira CP é responsável por valores elevados de variância numa subregião que inclui parte de Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Nordeste da Argentina. A segunda tem comportamento dual, apresentando correlações com Z que têm sinais opostos no norte e no sul da região. A terceira CP é significativa apenas numa região limitada frente ao Rio de Janeiro.

A figura 3 ilustra a recuperação de séries temporais de uma célula da grade, com 2 e com 6 CP's. Verifica-se que, a partir de um desvio padrão inicial de 58 W.m^{-2} para Q , para $K=2$ o desvio padrão do erro remanescente é da ordem de 27 e para $K=6$ fica reduzido a 22. Isto significa recuperar 78% e 85% da variância de Q no período considerado.

Os resultados resumidos aqui sugerem que a série temporal de Q na grade completa de 7 meses (40 arquivos pentadais com 1934 células cada um) pode ser representada com grande precisão a partir de um conjunto limitado de arquivos descrevendo, espacialmente, os campos de irradiação média $\langle Q \rangle$, desvio padrão $\langle S \rangle$ e cargas fatoriais f_1, \dots, f_K ; e, temporalmente, as quatro a seis primeiras séries de componentes principais $Z_1(t), \dots, Z_K(t)$. Um período ainda maior de dados não deveria aumentar este número de arquivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ceballos, J.C. e M.J. Bottino 2002. Modelo de estimativa de radiação solar por satélite no CPTEC: versão GL1.2. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, *Anais* [CD-ROM]: 3270-3274.
Ceballos, J.C., M.J. Bottino e J.M. Souza, 2003. A simplified model for assessing solar radiation over Brazil using GOES-E imagery. Submetido a *J. Geophys. Res.*

Gautier, C., G. Diak and S. Masse. 1980. A simple physical model to estimate incident solar radiation at the surface from GOES satellite data, *J. Appl. Meteor.*, 19, 1005-1012.

INMET, 1998. *Atlas de irradiação solar do Brasil*, 57 pp.

Johnson, R.A. e D.N. Wiechern, 1982. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Prentice Hall, 578 pp.

Tarpley J.D. 1979. Estimating incident solar radiation at the surface from geostationary satellite data. *J. Appl. Meteorology*, 18, 1172-1181.

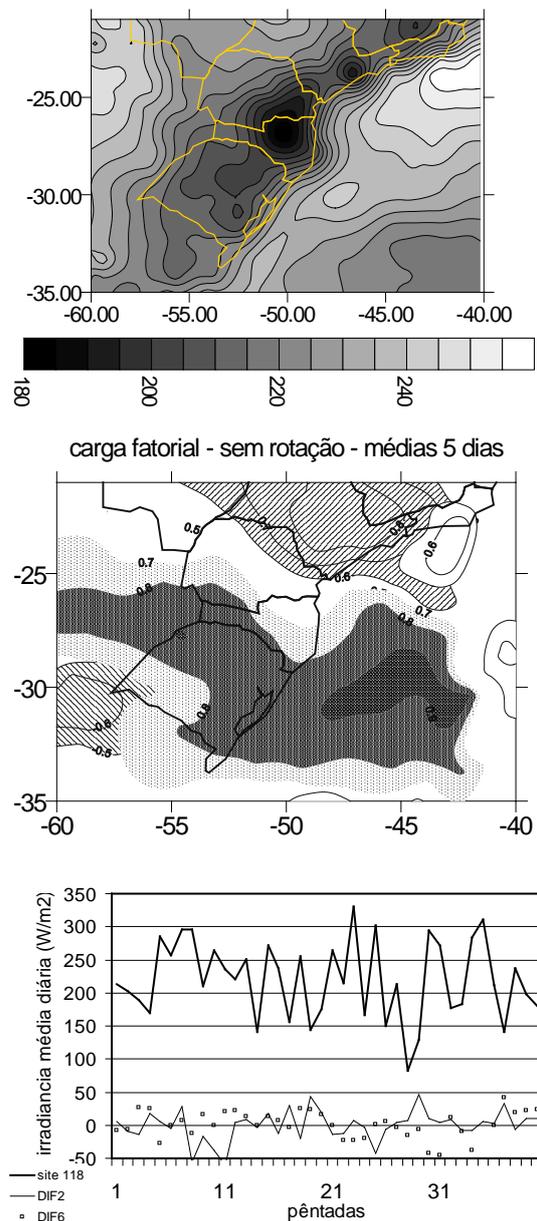


Figura 1. Distribuição de irradiação média

Figura 2. Distribuição de cargas fatoriais F na região. $F1$: sombreado. $F2$: hachurado (>0 norte, <0 sul). $F3$: fundo branco, Rio de Janeiro.

Figura 3. Série de pentadas e desvio das aproximações de ordem 2 e 6. Local em 42°W 23°S .