

RADIAÇÃO DE ONDA LONGA EMERGENTE NO TOPO DA ATMOSFERA: UMA COMPARAÇÃO ENTRE ESTIMATIVAS COM GOES-8 IMAGER E DADOS DO NCEP

Juan Carlos Ceballos, Wagner Flauber Araujo Lima, Jaidete Monteiro de Souza

CPTEC / INPE – 12630 Cachoeira Paulista, SP – Brasil

e-mail: ceballos@cpotec.inpe.br, wagner@cpotec.inpe.br, jaidete@cpotec.inpe.br

Abstract

Outgoing Longwave Radiation (OLR) emerging from Earth is an useful tool for convection monitoring throughout the tropical region. OLR fields commonly used are those of NCEP, based on HIRS-TOVS or HIRS-ATOVS thermal infrared data from NOAA satellites and assessed as a mean over 2.5° -size cells. A simple expression based on channel 4 only is applied, similarly to early methods based on AVHRR-NOAA channel 4 data. A preliminary analysis for South American area suggests an overall mean deviation of 10 W.m^{-2} and standard deviation of 15 W.m^{-2} between GOES-based and NCEP OLR estimates. Further analysis is needed, including a careful fit of time coincidence between GOES and NOAA-16 passes over the continent.

1. Introdução

Os campos de radiação de onda longa emergente (ROL) contribuem à análise da dinâmica de regiões com convecção intensa. Séries temporais destes campos permitem a análise climatológica da distribuição regional e da evolução da convecção. Por outro lado, a ROL mais a irradiância solar refletida descrevem o balanço regional de energia; a diferença com o balanço esperável em situações de céu claro permite avaliar a forçante radiativa devida à presença de nuvens e estudar a influência destas no clima local.

Os satélites da série NOAA permitem monitorar os campos de ROL sobre o planeta. Por exemplo, o NCEP (*National Center for Environmental Prediction*) emite campos planetários compostos a partir de todas as órbitas diárias do NOAA16 (um para o conjunto das passagens diurnas e outro para o conjunto das noturnas). Os arquivos correspondem a médias sobre áreas de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, correspondentes a uma grade de 73 linhas por 144 colunas. Até há pouco tempo, os valores numéricos de ROL eram estimados a partir dos dados dos sensores HIRS do TOVS de NOAA-14; atualmente utiliza-se o HIRS do ATOVS (NOAA-16, no caso do NCEP).

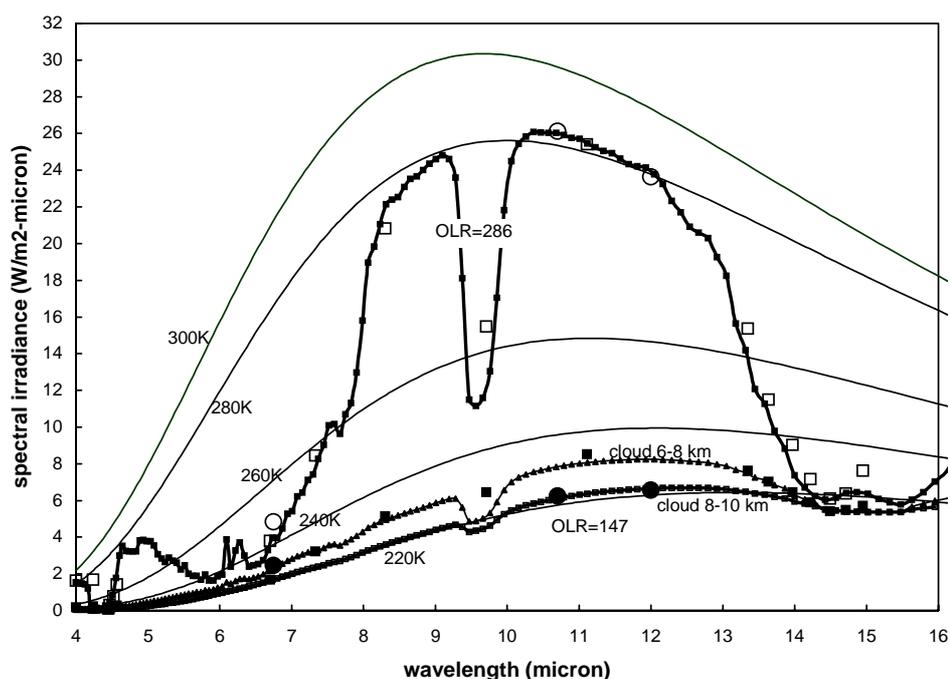
O sistema HIRS (*High Infrared Resolution Spectrometer*) está formado por um conjunto de 19 sensores no espectro infravermelho termal, entre 4 e $15 \mu\text{m}$ de comprimento de onda. Apesar da resolução espectral, uma limitação evidente da ROL estimada é a baixa frequência temporal. Por outro lado, a composição de sucessivas órbitas de NOAA oferece uma imagem da radiação emergente do planeta em *horas locais semelhantes* (desde que o satélite é heliosíncrono), mas *não* para o mesmo instante. No caso do NOAA-16, os horários se verificam em torno de 0100 e 1300 hora local. Estas duas limitações seriam compensadas por imagens do satélite GOES (geoestacionário) fornecidas a cada meia hora; entretanto, sua resolução espectral é menor.

O presente trabalho apresenta um estudo preliminar de estimativas ROL baseadas no GOES Imager (Ceballos *et al.*, 2002) comparadas com dados do NCEP. Os resultados sugerem que os campos GOES são coerentes com aqueles dos dados NCEP, permitindo estimativas de boa qualidade com a vantagem de cobrir áreas extensas da América do Sul a cada meia hora.

2. Método de estimativa da ROL

A figura 1 ilustra três casos de espectro de radiação emergente observado pelo TOVS-NOAA 14 sobre o Brasil para a média de uma área de 3×3 pixels. Indicam-se os valores de irradiância medidos pelo satélite, e o espectro completo avaliado pelo utilitário *SBDART* (*Santa Barbara DISORT Atmospheric Radiative Transfer*: Richiazzi *et al.* 2000) com base no perfil atmosférico nessa área (*). Observa-se que uma parte considerável da contribuição à ROL encontra-se na “janela atmosférica” (comprimentos de onda em torno de 10 a 12 μm) em condições de céu claro (valores elevados de ROL). Por outro lado, para cobertura extensa de nuvens com grande desenvolvimento vertical (valores baixos de ROL) considerou-se a hipótese de um perfil atmosférico de céu claro, com um corpo negro no nível e temperatura do topo de nuvens; nesse caso, a radiação emergente está distribuída no conjunto do intervalo espectral do HIRS. Note-se que os resultados do SBDART se ajustam muito bem às irradiâncias observadas pelos 19 canais do HIRS. Note-se, ainda, que o espectro de radiação emergente além de 15 μm não é observado pelo HIRS; portanto, a estimativa de ROL requer de algum modelo teórico adicional de transferência de radiação (baseado no perfil atmosférico).

Figura 1 – Espectro de irradiâncias avaliado pelo SBDART para a média de um conjunto de 3×3 pixels com céu claro sobre o Brasil, passagem NOAA-14 de 14/06/2001 às 09 GMT (06 hora de Brasília). Os quadrados indicam as medidas em 19 canais do sistema TOVS. O espectro teórico está baseado no perfil atmosférico deduzido por aplicação do utilitário ITPP5. Para estimativa de ROL sobre nuvem, considera-se um “solo negro” situado no topo da nuvem, emitindo com a temperatura do topo desta.



* Os perfis são avaliados operacionalmente no CPTEC, com base no utilitário ITPP-5 (International TOVS Processing Package): ver endereço internet www.cptec.inpe.br → Satélites → Produtos TOVS.

A partir do lançamento da série TIROS (depois designada como NOAA-n), as primeiras estimativas de ROL utilizaram-se do sistema AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) também incluído nesses satélites, dispondo de 5 canais com alta resolução espacial (em torno de 1 km). O canal 4 utilizado para o cálculo (Gruber e Krueger, 1984) encontra-se nessa janela. Ellingson *et al.* (1989) mostraram teoricamente que o uso dos canais TOVS permitiria uma estimativa mais acurada, com contribuições à variância da ROL que elevando-se de 94% com AVHRR para 99% com o uso de apenas quatro canais TOVS. A NOAA utilizou as parametrizações de Ellingson *et al.* a partir do NOAA-7. As estimativas consideram uma redução prévia ao sinal que seria observado segundo uma visada vertical (correção de escurecimento de limbo ou *limb darkening*). Operacionalmente, a NOAA utiliza-se de tabelas de referência (*look-up tables*) baseadas nessas parametrizações, sendo funções do ângulo de visada do satélite (Jacobowitz 2001, comunicação pessoal). A resolução espacial no nadir corresponde a cerca de 15 km.

O uso de satélite geostacionário para estimativas de ROL não é novo. Kidder e vonder Haar (1995) descrevem estudos do ciclo diário do balanço planetário de radiação usando GOES já em 1984. Gube (1980) mostrou a factibilidade de usar os canais de infravermelho termal e vapor d'água do Meteosat para os mesmos fins. Ceballos *et al.* (2002) analisaram os valores de ROL avaliados pelo utilitário ITPP5 da Universidade de Wisconsin e compararam com as radiâncias medidas pelo GOES-8. Considerando pixels TOVS isolados, realizaram regressões lineares múltiplas entre o ROL-ITPP5 e as irradiâncias observadas nos canais de vapor d'água e infravermelho termal (além de um “canal virtual” em 8 μm e de um estimador da irradiância para $\lambda > 15 \mu\text{m}$ – *tail* ou “cauda” do espectro-- baseado na temperatura de brilho no canal 4 do GOES). Concluíram que a qualidade de uma regressão múltipla é semelhante à obtida por uma combinação linear da irradiância no canal 4 e na “cauda” da distribuição, segundo a expressão seguinte (que considera o estimador do ITPP5 como “verdade de referência”):

$$ROL = -493,7 - 16,96 E_4 + 0,187. (47+0,76 T_4)^{1.52} \quad (1)$$

Nesta expressão, $E_4 = \pi B_\lambda(\lambda_4, T_4)$ refere-se à irradiância espectral baseada na temperatura de brilho T_4 do GOES observada no canal 4 ($\lambda_4 = 11.5 \mu\text{m}$), B é a função de Plank, e não se consideram fatores de correção por não isotropia da radiação observada numa imagem GOES. Para eliminar possíveis desvios ou redundâncias decorrentes de utilizar a mesma base de dados em processos de teste, a parametrização (1) determinada para junho de 2001 foi aplicada a passagens NOAA de 14 de setembro do mesmo ano. A qualidade do ajuste encontrado para médias sobre células de $1^\circ \times 1^\circ$ foi de $+4 \text{ W.m}^{-2}$ de desvio médio e $6,8 \text{ W.m}^{-2}$ de desvio padrão. Estes valores têm ordem semelhante aos publicados por Ellingson *et al.* (1994) para comparações entre estimativas usando dados NOAA-9 e medidas do ERBE. Nessa análise, já eram utilizadas as parametrizações de Ellingson *et al.* Estes resultados sugerem que a parametrização GOES poderia fornecer campos de ROL com qualidade comparável àquela dos publicados pelo NCEP.

3. Materiais e métodos

Foram considerados arquivos do NCEP para vários dias de 2002. Escolheu-se o da passagem diurna de 11 de março de 2002 para fins de comparação com estimativas GOES em imagem da América do Sul de 1800Z. A imagem GOES continha temperaturas de brilho do canal 4, amostradas em pixels a cada $0,15^\circ$. Utilizou-se a parametrização (1) para avaliar ROL pontualmente, e para avaliar médias em células de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ centradas nos pontos de grade dos arquivos NCEP. O utilitário GrADS permitiu comparações visuais entre os campos obtidos

(deve-se notar que esse programa utiliza um método de *kriging* para definir campos interpolados).

4. Resultados

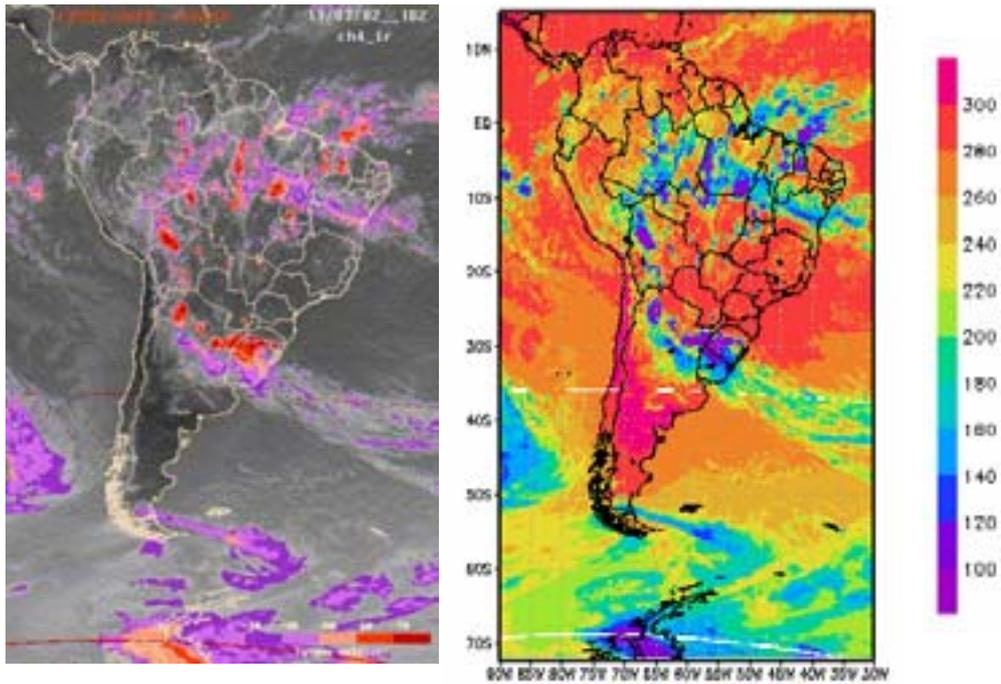
As figuras 2 ilustram a estimativa de maior resolução. A imagem do canal 4 de GOES inclui realce dos topos de nuvens com menos de -30°C . A estimativa de ROL está construída por *kriging* em GrADS a partir de pixels isolados. Os núcleos mais frios apresentam irradiâncias entre 80 e 100 W.m^{-2} ; a região Sudeste do Brasil e o Paraguai apresentam máximos entre 280 e 300 W.m^{-2} numa extensa área com escassa nebulosidade. A média sobre $2,5^{\circ}\times 2,5^{\circ}$ (figura 3, esquerda) elimina detalhes dos núcleos convectivos e eleva as médias típicas para 180 - 200 W.m^{-2} . Os mínimos observados agora estão entre 120 e 140 W.m^{-2} . Conclui-se que a degradação de informação introduzida por médias sobre $2,5^{\circ}\times 2,5^{\circ}$ é considerável na mesoescala, embora sistemas convectivos com grande desenvolvimento possam apresentar diâmetros com dimensão igual ou maior do que 250 km (justificando médias nessa escala).

As figuras 3 evidenciam que os campos de estimativas GOES e NCEP são genericamente coerentes. Deve-se observar que o campo GOES corresponde a 1800Z , enquanto o do NCEP sobrepõe três horários sucessivos, dentre os quais uma passagem de 1600Z sobre o leste e centro do Brasil, e outra de 1740Z sobre Amazônia, oeste da América do Sul e Argentina continental. Esta última faixa geográfica deveria ser a mais coerente com o a estimativa GOES. A figura 4 apresenta o campo de desvios do GOES com relação ao NCEP. Observa-se que os menores desvios se verificam para as regiões extensas com pouca ou nenhuma nebulosidade. Um núcleo convectivo sobre o norte do Uruguai e sudoeste do Rio Grande do Sul foi descrito com diferença de apenas 5 W.m^{-2} entre os dois estimadores. Porém, sistemas convectivos na Amazônia têm uma estimativa NCEP para seu núcleo frio com maior extensão e menor fluxo que o sugerido pelas figuras 2 (imagem GOES e estimador GOES de alta resolução). Um outro exemplo de diferença aparente pode ser o sistema convectivo associado à Zona de Convergência Intertropical, no Atlântico, próximo do Ceará; de fato, a variação espacial do campo interpolado GOES concorda com a imagem de satélite bem mais do que o campo NCEP, entretanto, a atividade convectiva pode ter mudado apreciavelmente entre duas órbitas sucessivas do satélite NOAA. Talvez, a junção de *duas* imagens GOES de horários diferentes reproduzindo as passagens do NOAA poderia ter fornecido estimativas ainda mais compatíveis. Estes resultados sugerem que não apenas diferenças de horários mas também o método de cálculo de médias e de interpolação podem introduzir diferenças entre as duas estimativas de ROL.

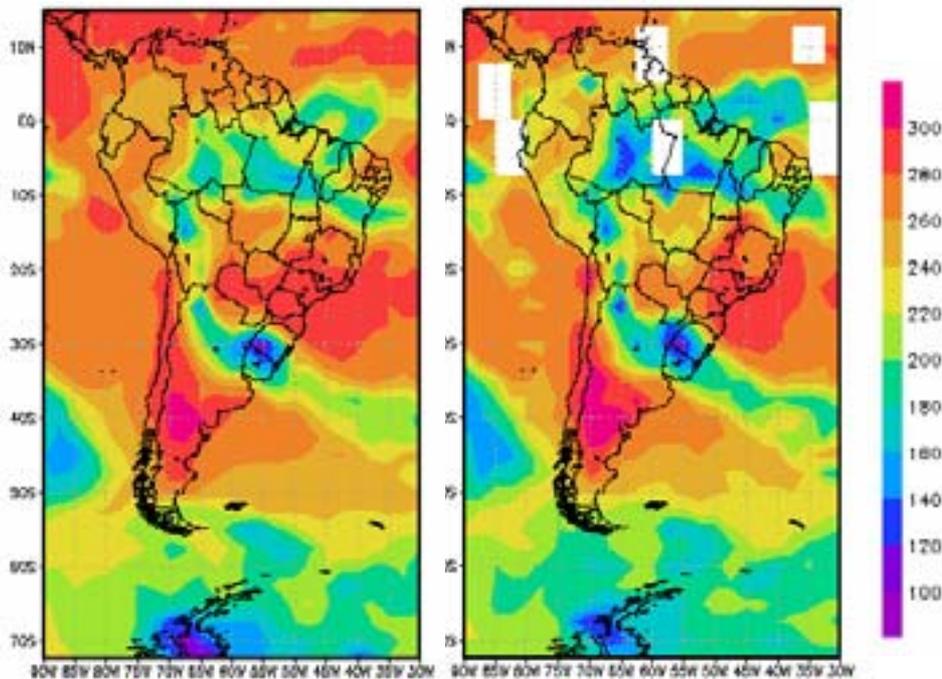
5. Conclusões

A estimativa GOES proposta para ROL é qualitativamente coerente com a do NCEP, em particular considerando interpolações da estimativa GOES baseada em pixels isolados cada $0,15^{\circ}$. Ao avaliar médias em células de $2,5^{\circ}\times 2,5^{\circ}$, a estimativa GOES proposta concorda com os campos do NCEP em várias regiões da América do Sul (uma sem nuvens sobre o Atlântico frente ao litoral brasileiro, e no centro da Argentina, ou um sistema convectivo sobre o Uruguai e Rio Grande do Sul) mas descreve fluxos maiores sobre regiões parcialmente cobertas por nebulosidade dentro de uma célula (p.ex. na Amazônia ou no Pacífico).

No caso analisado, a média e o desvio padrão das diferenças entre estimativas GOES e NCEP em pontos de grade foram de 8 e 18 W.m^{-2} . A análise do dia seguinte mostrou valores de 10 e



Figuras 2. DIA 11/03/02 GOES 18Z. Na imagem GOES (a esquerda) foi dado realce às temperaturas de brilho entre -30°C (roxo) e -60°C (vermelho). À direita, gráfico GrADS interpolando ROL estimados em pixels amostrados a cada $0,15^{\circ}$. Observa-se que na escala de 15km as características da nebulosidade são bem descritas. Os núcleos mais frios representam entre 80 e 100 W.m^{-2} ; a região Sudeste e o Paraguai apresentam entre 280 e 300 W.m^{-2} numa extensa área.



Figuras 3 – Média de ROL em células de $2,5^{\circ}\times 2,5^{\circ}$ para 11/03/02. A esquerda, campo deduzido do GOES, média em células de $2,5^{\circ}$. À direita, campo fornecido pelo NCEP deduzido do ATOVS de NOAA-16. Observe-se a composição de três passagens sucessivas do satélite sobre a América do Sul. O horário corresponde aproximadamente a 13 hora *local* (ou seja, em torno de 16Z para a passagem sobre a área de Brasília e 1730 Z sobre a Amazônia, o Chile e a Argentina).

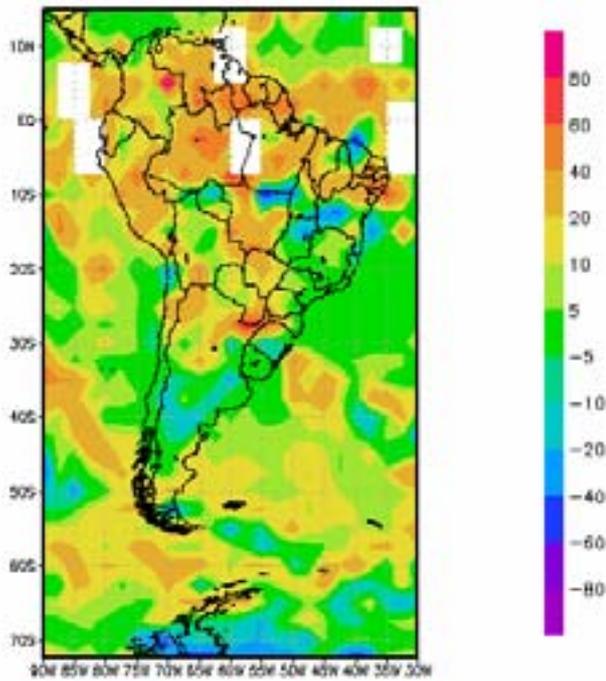


Figura 4 – Campo de diferenças entre estimadores GOES e NCEP.

15 $W.m^{-2}$. Os resultados da comparação devem ser considerados positivos mas preliminares. Métodos de estimativas de médias e de interpolação espacial, assim como as diferenças de horário entre imagens GOES e passagens NOAA consideradas, podem introduzir diferenças apenas aparentes e devem ser analisados com maiores detalhes.

Referências bibliográficas

Ceballos, J.C., W.F.A. Lima e J.M. de Souza. **Estimates of Outgoing Longwave Radiation at the top of atmosphere using GOES-8 Imager data: preliminary results**. Submetido à Revista Brasileira de Meteorologia, 2002.

Ellingson, R.G. e R.R. Ferraro. An examination of the technique for estimating the longwave radiation budget from satellite radiance observations. **J. of Climate and Appl. Meteor.** V. 22, p. 1416-1423, 1983.

Ellingson, R.G.; D.J. Yanuk; H.T. Lee e A. Gruber. A technique for estimating outgoing longwave radiation from HIRS radiance observations. **J. of Atmos. and Oc. Technology** v. 6: 706-711, 1989.

Gruber, A. e A. F. Krueger. The status of the NOAA outgoing longwave radiation data set. **Bulletin of the Amer. Meteor. Soc.**, v. 65, p. 958-982, 1984.

Gube, M. Outgoing-longwave-flux computation from Meteosat data. **ESA Journal**, V. 4, pp. 381-396, 1980.

Kidder, S.Q. e T.H. vonder Haar. **Satellite Meteorology**. Academic Press, 466 pp, 1995.

Richiazzi, P.; S. Yang; C. Gautier e D. Sowle. SBDART: A research and teaching software tool for plane-parallel radiative transfer in the Earth's atmosphere. **Bulletin of the Amer. Meteor. Soc.** v.79, pp. 2101-2114, 1998.