

Variabilidade temporal do fluxo da radiação de ondas longas no Brasil e vizinhanças no período de 1979 a 2008 - Parte II: Ciclo anual

Jorge Conrado Conforte¹
Suelen Trindade Roballo¹
Nelson Jesus Ferreira¹

¹ Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{jorge.conrado, suelen.roballo, nelson.ferreira}@cptec.inpe.br

Abstract. Using outgoing longwave radiation (OLR) flux over Brazil and vicinities this study analyses the annual cycle of this variable during the January 1979 - December 2008 period. The study were done using daily data of OLR derived from radiances measured by heliosynchronous meteorological satellite and wavelet transform. The obtained results characterize very well the seasonal progression of the annual cycle depicting the favorable and unfavorable regions for developing convective activity. From the beginning of the rainy season in the tropics a broad area with negative amplitude dominates the central and southern Amazonia, gradually spreading north and northeastward. In the dry season a similar amplitude phase pattern is observed in this region, but involving an opposite amplitude. It was also observed a significant year to year variability of the OLR annual cycle mostly in the central Brazil and southern Amazonia.

Palavras-chave: wavelets, annual cycle, longwave radiation, ondaletas, ciclo anual, radiação de ondas longas.

1. Introdução

Tipicamente a região tropical de nosso Planeta é dominada por temperaturas elevadas, muita umidade, ventos de leste e forte atividade convectiva (precipitação). Essas características variam regionalmente tanto nos oceanos como nos continentes e também em função do época do ano. Nesse contexto, destaca-se o ciclo anual da atividade convectiva, que é muito bem representado pelo fluxo de Radiação de Ondas Longas Emergentes (ROLE) inferido por meio de radiancias detectadas por satélites meteorológicos heliosíncronos. Inúmeros estudos documentaram que o ciclo anual dessa variável nos trópicos apresenta uma marcante variabilidade, com forte atividade convectiva nas regiões equatoriais úmidas no verão como é caso da Bacia Amazônica, Australásia e África e também ao longo da ITCZ, e um período relativamente seco no inverno (Heddinghaus e Krueger, 1981; Kousky e Kayano, 1994; Waliser e Zhou, 1997; Andreoli, 1998; Ferreira e Gurgel, 2002, Garcia e Kayano, 2010). Esses estudos utilizaram funções ortogonais empíricas e/ou estatística básica para avaliar para caracterizar essa variabilidade de ROLE. Com o advento das transformadas de ondaletas é possível avaliar as múltiplas escalas temporais associadas com variáveis meteorológicas e espacializá-las de forma a ter uma compreensão global mais adequada dos ciclos atmosféricos.

Nesse contexto, com o intuito de aprimorar o conhecimento do ciclo anual da atividade convectiva e conseqüentemente da precipitação no Brasil o presente estudo utiliza a amplitude do espectro global das ondaletas da ROLE, especializada a partir da obtenção da transformada de ondaletas, na escala de 330 a 370 dias, considerada aqui representativa do ciclo de interesse. Deve-se destacar que no Brasil há um grande interesse no conhecimento dessa variável uma vez que a mesma tem aplicações em previsão climática, principalmente na determinação do início da estação chuvosa nas regiões sudeste e centro oeste.

2. Dados e Metodologia

As análises do ciclo anual apresentadas neste trabalho foram realizadas utilizando-se dados diários interpolados de radiação de ondas longas emergente (ROL), com resolução

especial de 2,5 x 2,5 graus de latitude e longitude, do período de 1979 a 2008. Esses dados são disponibilizados pelo National Centers for Environmental Prediction e fornecidos pelo NOAA-CIRES Climate Diagnostic Center, Boulder, Colorado, através da homepage <http://www.cdc.noaa.gov/> (Kalnay et al. (1996). essa variável derivada a partir de medições radiométricas obtidas pelo sensor AVHRR/NOAA na faixa espectral entre 10,5 a 12,5 μm (Waliser & Zhou, 1997).

A metodologia utilizada envolve o uso da componente real da amplitude de ondaletas obtida pela transformada de ondaleta não ortogonal de Morlet, conforme documentado em Torrence e Compo (1998). A transformada de ondaletas pode ser expressa por:

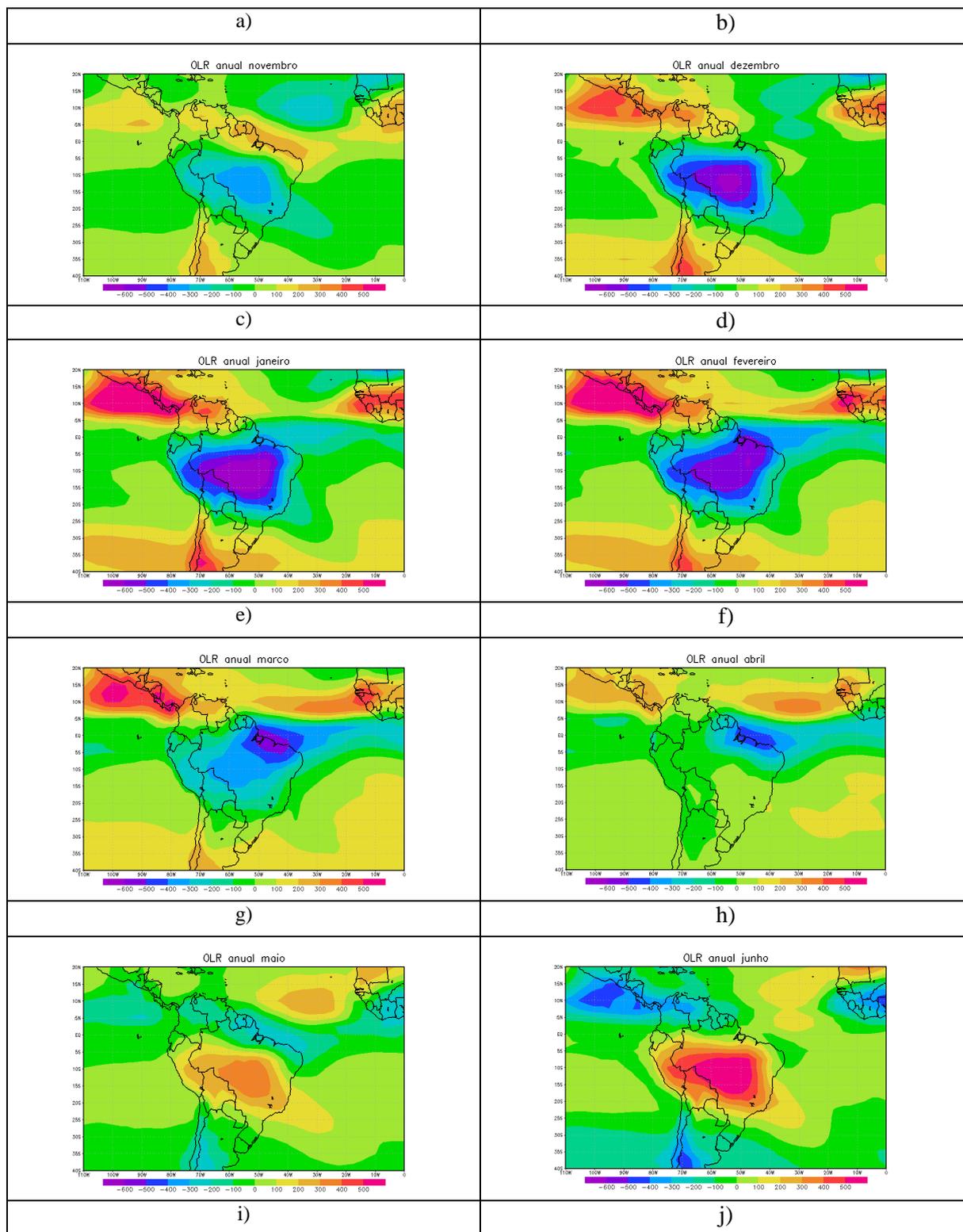
$$(W\varphi f)(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int \varphi^c \left(\frac{t-b}{a} \right) f(t) dt \quad (1)$$

onde φ^c é o complexo conjugado de φ , $\frac{1}{\sqrt{a}}$ a normalização da energia da ondaleta, $f(t)$ a função que envolve a variável de interesse, b a posição e a a escala.

3. Resultados

A Figura 1 apresenta a componente mensal média da amplitude do ciclo anual de ROLE a partir de novembro (figura 1a), considerado aqui como o início da estação chuvosa em grande parte do Brasil. Observa-se que a fase favorável (amplitude negativa) da atividade convectiva se estende ao longo de uma ampla faixa do Sul da Amazônia, Brasil Central até a vizinhança da costa sudeste no Atlântico Sul. Essa característica é modulada por zonas de convergência e/ou intrusões de sistemas frontais do sul do Brasil, contribuindo para o início da estação chuvosa na região. Por outro lado, na costa norte do Brasil e entre 0 e 5 N, prevalece estabilidade atmosférica em oposição ao observado mais a norte no Oceano Atlântico. A partir de Novembro torna-se evidente a grande área com amplitudes negativas caracterizando o estabelecimento da estação chuvosa principalmente no Brasil central e sul da Amazônia. Essa área expande-se ao longo do verão tanto para norte, evidenciando as conexões com a atividade convectiva no norte, leste e nordeste da Amazônia e ITCZ, mas no final dessa estação (março) o sinal da fase favorável para atividade convectiva persiste na Amazônia Central sendo mais evidente no nordeste da Amazônia, sugerindo assim forte conexões com ITCZ.

Do ponto de vista meteorológico essa característica sazonal é acompanhada pela atividade convectiva associada a Alta da Bolívia (Lenters e Cook, 1997), Vórtices Ciclones de Altos Níveis (Kousky e Gan, 1981), Zona de Convergência Intertropical (ITCZ) e Zona de Convergência do Atlântico Sul 9ZCAS (Kodama, 1992) e frentes frias. Nesse período, nota-se o progressivo estabelecimento de uma faixa equatorial caracterizada por ausência de nebulosidade (amplitudes positivas) principalmente na América Central. No outono, como esperado, a atividade convectiva não é acentuada, concentra-se na região equatorial ao longo da ITCZ e vizinhanças, o que é evidente pela distribuição espacial da amplitude negativa/positiva de ROLE desse período (Figuras xx a xx). Observa-se também nessa estação que o padrão espacial da evolução mensal da fase positiva do ciclo anual é semelhante ao observado na primavera, mas no sentido inverso, ou seja dominado pela fase positiva que é desfavorável para atividade convectiva. Neste contexto, poder-se ia caracterizar o início da estação seca principalmente na região central do Brasil. O pico dessa evolução ocorre em julho.



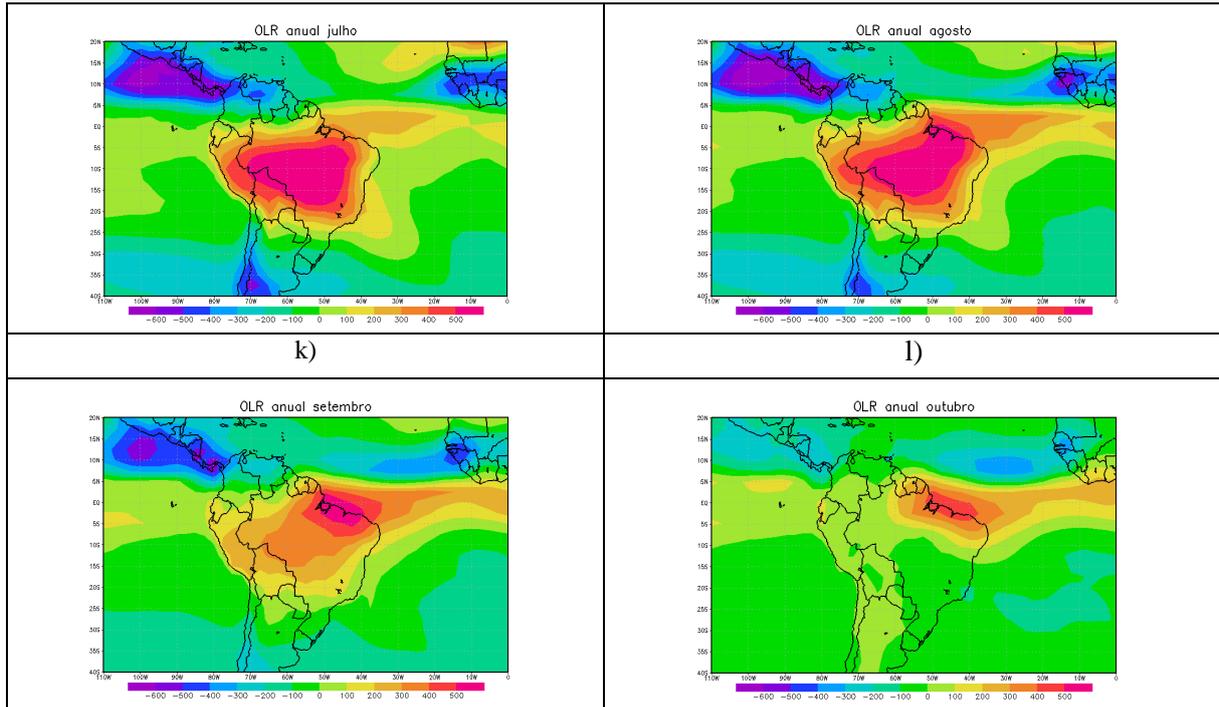


Figura 1: Ciclo anual (Watts/m²) de ROLE derivado da transformada de ondaleta durante o período de 1979 a 2008: a) novembro, b) dezembro, c) janeiro, d) fevereiro, e) março, f) abril, g) maio, h) junho, i) julho, j) agosto, k) setembro, l) outubro.

Como observado anteriormente a evolução mensal do padrão espacial do ciclo anual desloca-se de sul para norte ao longo do ano. Isto é ilustrado na Figura 2 pela propagação meridional da amplitude da ROLE nessa escala de tempo entre as longitudes 30^o a 50^o W e 30^o a 5^o N no período de janeiro de 2007 a dezembro de 2008. A partir de outubro (março), de aproximadamente 20^o S, observa-se uma propagação relativamente lenta da amplitude negativa (positiva) do ciclo anual associada ao estabelecimento do período convectivamente ativo (inativo) ou estação chuvosa(seca); esse comportamento persisti até março (outubro).

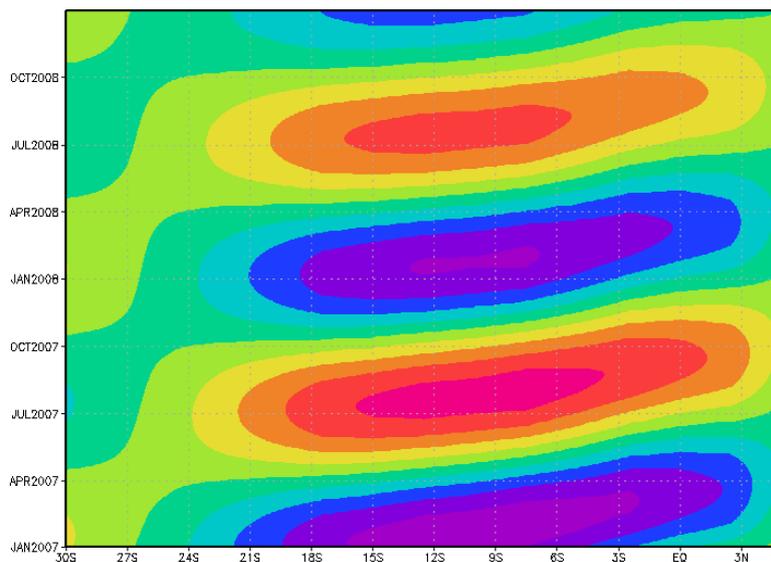


Figura 2: Ciclo anual (W/m²) de ROLE derivado da transformada de ondaleta durante o período de janeiro de 2007 a dezembro 2008, entre 30^o a 50^o W.

Deve-se destacar que em geral o ciclo anual de ROLE nos trópicos não varia muito, mas em alguns períodos, como por exemplo em casos de El Nino ou La Nina observa-se uma significativa variabilidade interanual. Por exemplo, em janeiro de 2006 (Figura 3), no sul da Amazônia, região central do Brasil e também ao longo da ZCAS a atividade convectiva foi consideravelmente mais ativa que em janeiro de 2007. Por outro lado na America Central e noroeste da África o comportamento foi oposto.

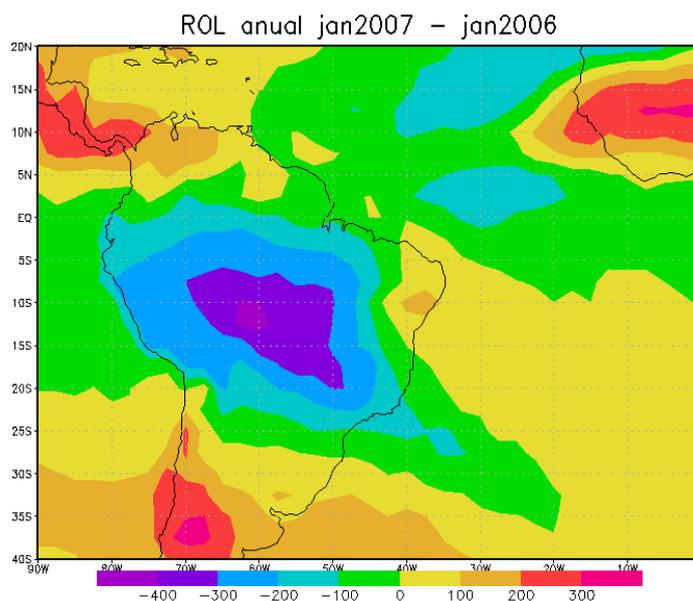


Figura 3: Diferença da amplitude (W/m^2) do ciclo anual de ROLE derivado da transformada de ondaleta entre janeiro de 2007 e janeiro de 2006, ilustrando a intensidade interanual dessa variável.

4. Considerações Finais

As análises apresentadas evidenciam a evolução mensal do ciclo anual de ROLE nos trópicos e em particular no Brasil. Os resultados obtidos destacam que essa variabilidade sazonal é marcante no Centro Oeste, Sul e Nordeste da Amazônia e em menor intensidade ao longo da ZCAS. Na estação chuvosa, esse comportamento reflete a atuação de sistemas sinóticos tais como a Alta da Bolívia, ZCAS e VCANS e ITCZ. No inverno, ou estação seca, o comportamento do ciclo anual é oposto ao do observado na estação chuvosa. Em geral a evolução mensal do padrão espacial do ciclo anual desloca-se meridionalmente para norte a partir do centro oeste. Em termos de variabilidade ano a ano observou-se que as diferenças mais significativas ocorrem no Brasil Central.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo apoio.

Referências

Andreoli, R.V. **Variabilidade interanual de campos atmosféricos totais e zonalmente assimétricos**. 1998. 113p. (INPE-6776-TDI/637). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1998.

Ferreira, N. J.; Gurgel, H. C. Variabilidade dos ciclos anual e interanual da radiação de ondas longas emergentes sobre a América do Sul e vizinhanças. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 440-444, 2002.

Garcia, S. R.; Kayano, M. T. Some evidence on the relationship between the South American monsoon and the Atlantic ITCZ. **Theoretical Applied Climatology** DOI 10.1007/s00704-009-0107-z.

Heddinghaus, T.R.; Krueger, A.F. Annual and interannual variations in outgoing longwave radiation over the tropics. **Monthly Weather Review**, v. 109, n. 6, p. 1208-1218, 1981.

Kalnay, E.; Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gandin, L.; Iredell, M.; Saha, S.; White, G.; Woollen, J.; Zhu, Y.; Chelliah, M.; Ebisuzaki, W.; Higgins, W.; Janowiak, J.; Mo, K. C.; Ropelewski, C.; Wang, J.; Leetmaa, A.; Reynolds, R.; Jenne, R.; Joseph, D. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, n. 3, p. 437-471, 1996.

Kousky, V.E.; Gan, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, v. 33, n. 6, p. 538-551, 1981.

Kousky, V.E.; Kayano, M.T. Principal modes of outgoing longwave radiation and 250 mb circulation for the South American sector. **Journal of Climate**, Boston, v. 7, n. 7, p. 1131-1143, 1994.

Torrence, C.; Compo, G.P. A practical guide to wavelet analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, p. 61-78, 1998.

Waliser, D.E.; Zhou, W. F. Removing satellite equatorial crossing time biases from the OLR and HRC databases. **Journal of Climate**, Boston, v. 10, n. 9, p. 2125-2146, 1997.

Kodama, Y. M. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. **Journal of Meteorological Society of Japan**, v. 70, p. 813-835, 1992.

Lenters, J.D.; Cook, K.H.: On the Origin of the Bolivian High and Related Circulation Features of the South American Climate. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 54, Issue 5, p. 656-678, 1997.