

ANÁLISE DE SISTEMAS METEOROLÓGICOS POR MEIO DO PADRÃO DE OSCILAÇÃO PRINCIPAL

Julho de 2013

ANÁLISE DE SISTEMAS METEOROLÓGICOS POR MEIO DO PADRÃO DE OSCILAÇÃO PRINCIPAL

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Danielle Aparecida da Mota (Universidade de São Paulo, Bolsista
PIBIC/CNPq).

E-mail: danielle_dud@hotmail.com

Nelson Jesus Ferreira (INPE, Orientador)

E-mail: nejefe@hotmail.com

Julho de 2013

Mota, Danielle Aparecida

Análise de sistemas meteorológicos por meio do
Padrão de Oscilação Principal/Danielle Aparecida da
Mota – São José dos Campos: INPE, 2013.

Relatório Final PIBIC – Instituto Nacional de Pesquisas
Espaciais, 2012
Orientador Nelson Jesus Ferreira

1. Meteorologia. 2. Sistemas meteorológicos.
3. Oscilações I. Título.

Agradeço a minha mãe

Resumo

Este estudo tem como objetivo avaliar a variabilidade espaço-temporal dos sistemas dominantes de propagação de grande escala que afetam a América do Sul utilizando a técnica Principal Oscillation Pattern (POP). Pretende-se analisar as oscilações de escala sinótica bem como estabelecer como esses fenômenos afetam o Brasil. As análises serão feitas utilizando-se principalmente dados diários de velocidade potencial, geopotencial derivados das reanálises do National Centers for Environmental Prediction, EUA. O período de estudo estende-se de janeiro de 2001 a dezembro de 2010.

Abstract

This study aims to evaluate the spatio-temporal variability of dominant systems meteorological of large-scale propagation affecting South America using the technique Principal Oscillation Pattern (POP). Intend to analyze the oscillations of synoptic scale and to establish how these phenomena affect Brazil. The analysis will be made using mostly daily data speed potential, geopotential derived from reanalysis of the National Centers for Environmental Prediction, USA. The study period extends from January 2001 to December 2010.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. DADOS E METODOLOGIA	10
2.1 Dados.....	10
2.2 EOFs.....	10
2.3POP	13
3. SISTEMAS PROPAGANTES QUE AFETAM O BRASIL	17
3.1 Vórtices	17
3.2 Ciclones extratropicais.....	17
3.3 Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).....	19
4. RESULTADOS	20
5. CONCLUSÃO	22
6. ANEXOS	23
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	26

1. Introdução

Diversos trabalhos já documentaram as principais características dos sistemas de tempo que afetam a América do Sul (AS) nas diversas escalas de variabilidade. Nesse contexto, destacam-se os sistemas de escala sinótica como frentes, ciclones extratropicais, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e vórtices ciclônicos na média e alta troposfera.

Na escala sinótica os sistemas frontais e a ZCAS são considerados os principais causadores de precipitação na região. Na escala intrasazonal, a atuação da Oscilação Madden Julian (OMJ), durante o verão austral, influencia a posição e intensidade da ZCAS. A OMJ é considerada o principal modo de variabilidade na escala intrasazonal atuando na região tropical do globo (Madden e Julian, 1971, 1972). Esta oscilação consiste de eventos episódicos de convecção organizada originando-se no Oceano Índico, propagando-se para leste (Madden e Julian, 1994) e modulando a atividade convectiva principalmente na região da Indonésia, Oceano Pacífico Equatorial Central, Nordeste e Sudeste do Brasil (Casarin e Kousky, 1986; Kousky e Kayano, 1994; Madden e Julian, 1994; Liebmann et al., 1999; De Souza e Ambrizzi, 2006; Castro e Cavalcanti, 2006).

Vários estudos sugerem a existência de uma relação entre a oscilação intrasazonal (OIS) a posição e intensidade da ZCAS (Casarin e Kousky, 1986; Nogués-Paegle e Mo, 1997; Liebmann et al., 1999; Carvalho et al., 2004). Uma das características mais notáveis dessa conexão é a alternância de períodos secos e úmidos entre a porção subtropical e a região da ZCAS durante o verão austral. Esse dipolo de precipitação e circulação é referido como padrão gangorra na AS (Casarin e Kousky, 1986; Grimm e Silva s, 1995; Nogués-Paegle et al., 1997; Nogués-Paegle et al., 2000).

Dentre as técnicas utilizadas para a identificação dos padrões simultâneos

de variabilidade temporal dos sistemas meteorológicos, o uso das Funções Ortogonais Empíricas (EOF) tem sido extensivamente utilizado no Brasil. Entretanto, deve-se destacar que no caso das EOFs os padrões obtidos e os coeficientes associados descrevem essencialmente sinais estacionários, ou seja, uma estrutura espacial fixa, cuja amplitude varia com o tempo (von Storch et al., 1988). Por outro, se quisermos analisar uma estrutura de sinais que se propagam no espaço deve-se utilizar dois padrões tal que o coeficiente do primeiro está defasado/adiantado em relação ao coeficiente do segundo, metodologia essa denominada Padrão de Oscilação Principal (em inglês: Principal Oscillation Pattern (POP)).

O presente Projeto tem como objetivo avaliar os padrões dominantes de propagação dos sistemas atmosféricos que afetam a América do Sul utilizando a técnica POP. Especificamente pretende-se: Modelar sistemas de duas variáveis associadas às equações dinâmicas lineares para monitorar a propagação de sistemas meteorológicos, e avaliar padrões espaciais de propagação dos sistemas atmosféricos de escala global que afetam a América do Sul.

2. Dados e metodologia

A área de estudo contemplada no presente trabalho envolve um domínio global (600 N a 400 S). Nesse domínio ênfase será dada a análise das oscilações de altas frequências focando sistemas propagantes na média e alta troposfera, como vórtices migratórios de latitudes subtropicais e médias e ciclones extratropicais. O período de estudo será de 2001 a 2010.

2.1 Dados

O presente Projeto contempla o uso dos seguintes de média diária das componentes zonal e meridional do vento e geopotencial nos níveis atmosféricos de 850, 500 e 250 hPa obtidas do conjunto de dados da Reanálise do National Centers for Environmental Prediction (NCEP) (Kalnay et al., 1996) e disponíveis em <http://www.cdc.noaa.gov>. Os dados das reanálises encontram-se disponíveis em uma grade com espaçamento de 2,50 de latitude e longitude. As componentes zonais e meridionais serão utilizadas para calcular as componentes divergentes do vento (velocidade potencial) seguindo a formulação apresentada por Bluestein, (1993).

2.2 EOFs

Dentre as técnicas utilizadas para a identificação dos padrões simultâneos de variabilidade temporal dos sistemas meteorológicos, o uso das Funções Ortogonais Empíricas (EOF) tem sido extensivamente utilizado no Brasil.

A aplicação da técnica das EOFs atua como um filtro que retém a maior parte da variância do sinal e elimina ruídos (Von Storch and Navarra 1995). Esta metodologia, possibilita reduzir um grande conjunto de variáveis para um conjunto menor e mais significativo, facilitando assim sua interpretação. A análise das

EOFs é utilizada para a obtenção dos principais padrões espaciais de variabilidade dos campos meteorológicos.

As EOFs são obtidas de forma que as mesmas não sejam correlacionadas (ortogonais). Além disso, elas são derivadas em ordem decrescente da explicação da variância total. De maneira sucinta, a formulação matemática da EOF consiste em determinar uma transformação linear T a partir de um conjunto D de duas variáveis, de modo que T tenha a máxima variância de todas as transformações lineares, ou seja:

$$\text{var}(DT) = \max \quad (1)$$

Seja D um conjunto de dados de duas variáveis ($m=2$) e T as transformações, o conjunto de dados transformados é

$$Z = D\vec{T} \quad (2)$$

$$\text{var}(Z) = \frac{\sum(Z)^2}{n-1} = \frac{Z'Z}{n-1} = \frac{(DT)'(DT)}{n-1} = \frac{T'D'DT}{n-1} \quad (3)$$

Através da expressão $C = \frac{D'D}{n-1}$ pode-se obter a matriz de covariância C dos dados originais D, de modo que a Eq. 1 seja reescrita como:

$$\text{var}(Z) = T'CT = \max \quad (4)$$

Os termos Z_t , D_t e T_t são as matrizes transpostas de Z, D e T, respectivamente. Multiplicando T_t por T obtém-se a matriz identidade I resultando na condição de ortogonalidade dos elementos da matriz T:

$$e_i \cdot e_j = e_i' \cdot e_j' = \begin{cases} 1 & \text{para } i = j \\ 0 & \text{para } i \neq j \end{cases} \quad (5)$$

Considerando a função:

$$F(T) = T'CT - \lambda(T'T - 1) \quad (6)$$

pode-se fazer a maximização do termo $TtCT$ em (4), sendo λ o multiplicador Lagrangeano. Derivando parcialmente a função $F(T)$, obtém-se a maximização $F(T) = \text{var}(Z)$.

$$\frac{\partial F}{\partial T} = 2CT - 2\lambda T$$

$$2CT - 2\lambda T = 0$$

$$CT - \lambda T = CIT - \lambda IT$$

$$(C - \lambda I)T = 0 \quad (7)$$

A maximização da variância se resume em um problema de autovetor/autovalor. Para obter a equação característica, determinar os valores de λ e posteriormente os elementos de T , calcula-se o determinante:

$$|C - \lambda I|T = 0 \quad (8)$$

Os mesmos são os coeficientes de cada uma das componentes principais os quais representam os padrões espaciais com a variância (correlação) maximizada para todo domínio temporal dos dados originais. Os autovalores λ s seguem a ordem decrescente $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m$.

2.3 POP

Entretanto, deve-se destacar que no caso das EOFs os padrões obtidos e os coeficientes associados descrevem essencialmente *sinais estacionários*, ou seja, uma estrutura espacial fixa, cuja amplitude varia com o tempo (von Storch et al., 1995). Por outro, se quisermos analisar uma estrutura de sinais que se propagam no espaço deve-se utilizar dois padrões tal que o coeficiente do primeiro está defasado/adiantado em relação ao coeficiente do segundo, metodologia essa denominada Padrão de Oscilação Principal (em inglês: Principal Oscillation Pattern (POP)).

Nas análises do POP, um autovetor, fisicamente significativo de uma matriz, calculado por meio dos dados em consideração, constitui um POP complexo, cujas componentes real e imaginárias descrevem o padrão de um modo de particular de oscilação. Esse período de oscilação pode ser determinado através do correspondente autovalor. Os coeficientes das séries temporais formam um índice bivariado monitorando a oscilação durante todo o período considerado. Uma análise espectral dos coeficientes da série temporal pode ser aplicada para verificar o período de oscilação sugerido pelo autovalor. Seguindo as formulações originalmente propostas por Hasselmann (1988), os POPs de um determinado conjunto de dados podem ser obtidos a partir de um sistema de duas variáveis associadas às equações dinâmicas lineares:

$$\frac{dy_1}{dt} = L_1(y_1, y_2) ; \quad \frac{dy_2}{dt} = L_2(y_1, y_2) \quad (9)$$

onde L_1 e L_2 são funções lineares. Discretizando-se estas equações obtêm-se:

$$\begin{aligned} y_1(t+1) &= a_{11}y_1(t) + a_{12}y_2(t) \\ y_2(t+1) &= a_{21}y_1(t) + a_{22}y_2(t) \end{aligned} \quad (10)$$

onde a_{ij} são parâmetros. No caso de um sistema de equação dinâmica, linear de primeira ordem de variável m , as equações governantes podem ser expressas por:

$$y(t+1) = Ay(t) \quad (11)$$

onde y é um elemento m do vetor coluna e A é uma matriz $m \times n$. Geralmente, A é uma matriz real, mas não simétrica. Dessa forma, seus autovalores λ e seus autovetores P são geralmente complexos. Tomando o complexo conjugado da equação do autovetor, tem-se:

$$AP = LP \quad (12)$$

onde os P 's elementos da j -ésima coluna são os j -ésimos autovetores p_j , ou seja:

$$P = [p_1|p_2|\dots|p_m] \quad (05)$$

e

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & \lambda_m \end{bmatrix} \quad (06)$$

Dessa forma:

$$P^{-1}AP = \Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & \lambda_m \end{bmatrix} \quad (07)$$

O autovetor $p_j = p_j^r + ip_j^i$ é denominado POP de $y(t)$. Assim, o correspondente coeficiente POP pode ser expresso por:

$z_j(t) = z_j^r(t) + iz_j^i(t)$ que obedece a equação (8a), ou seja:

$$z_j(t+1) = \lambda_j z_j(t) \quad (12)$$

onde

$$\lambda_j = |\lambda_j| e^{i\theta_j} = e^{-1/\tau_j} e^{i2\pi/T_j} \quad (13)$$

Como geralmente $|\lambda_j| < 1$

$$z_j(t+1) = e^{-1/\tau_j} e^{i2\pi/T_j} z_j(t) \quad (14)$$

onde, $\tau = -1/\ln(|\lambda|)$ é a escala do *tempo de decaimento (e-folding time)* que corresponde ao período necessário para reduzir a amplitude inicial $|z(0)| = 1$ a $1/e$. Por outro lado, T_j é o *período oscilatório*. Dessa forma, z_j evoluirá no tempo apresentando um decaimento exponencial e um comportamento oscilatório, governado pelos parâmetros τ_j e T_j , respectivamente. Como $y(t)$ é real a equação (10) pode ser escrita na forma:

$$y(t) = \text{Re}[Pz(t)] = \sum |p_j^r z_j^r(t) - p_j^i z_j^i(t)| \quad (15)$$

À medida que t evolui, o sinal de z_j^r e z_j^i oscila, resultando num padrão de evolução,

$p_j^r z_j^r - p_j^i z_j^i$ tipo:

$$\begin{aligned} z_j^r &: \dots \rightarrow + \rightarrow 0 \rightarrow - \rightarrow 0 \rightarrow + \rightarrow \dots \\ z_j^i &: \dots \rightarrow 0 \rightarrow + \rightarrow 0 \rightarrow - \rightarrow 0 \rightarrow \dots \\ p_j^r z_j^r - p_j^i z_j^i &: \dots \rightarrow p_j^r \rightarrow -p_j^i \rightarrow -p_j^r \rightarrow p_j^i \rightarrow p_j^r \rightarrow \dots \end{aligned} \quad (16)$$

3. Sistemas propagantes que afetam o Brasil

Diversos sistemas de tempo afetam o Brasil, em diversas escalas de variabilidade, destacam-se os sistemas de escala sinótica como frentes, ciclones extratropicais, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e vórtices ciclônicos.

A passagem dos Ciclones Extratropicais no Oceano Atlântico Sul com os sistemas frontais, são responsáveis por grande parte os fenômenos de tempo sobre o continente.

3.1 Vórtices

A vorticidade implica a rotação, ou velocidade angular, de parcelas de fluídos.

De acordo com Ferreira (1989), os vórtices ciclônicos em sua grande maioria são encontrados na deformação de bandas de nebulosidade, assim como em aglomerados de nuvens convectivas.

3.2 Ciclones Extratropicais

Os vórtices que têm giro ciclônico são denominados ciclones de latitudes médias ou ciclones extratropicais, que podem trazer precipitações como chuvas e tempestades.

Segundo o modelo abordado por Bjerknes (1922) e Solberg (1922) mostra os diferentes estágios de vida de um ciclone extratropical desde sua formação até sua dissipação.

a) Estágio inicial

- Frente estacionária;

- Entre dois anticiclones existe uma baixa pressão;

- O ar quente ao norte e ar frio ao sul, fluem juntamente com a frente, mas em direções opostas, denominando região de vorticidade ciclônica;

b) Estágio de onda frontal

- As frentes começam a se deslocar iniciando a formação de uma baixa em superfície e precipitações ao longo das zonas frontais;

- Sistemas de precipitação;

c) Estágio maduro

- A frente fria se desloca rapidamente provocando a oclusão do sistema, atingindo o estágio maduro.

- Precipitação intensa;

- Ventos fortes no centro do ciclone;

- O sistema se desloca para leste- sudeste;

d) Estágio de dissipação

- Tende a enfraquecer e se dissipar por estar em uma massa de ar fria, a qual é estável.

Ciclones extratropicais causam instabilidades e ventos fortes na região sul do país, o principal estado afetado por esse fenômeno é o Rio Grande do Sul.

3.3 Zona de Convergência do Atlântico Sul

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é caracterizada como uma banda persistente de precipitação e nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste, estendendo-se desde o sul da região Amazônica até a região central do Atlântico Sul (Kousky, 1988).

No Brasil durante o verão austral, que vai de outubro a março, a ZCAS pode ser considerada como fato dominante responsável pelo regime de chuvas. Esse sistema, também influencia na precipitação nas regiões sul e sudeste do Brasil.

Dependendo do período que o sistema permaneça, a ZCAS está associada à condição de estiagem em algumas regiões e em outras com chuvas intensas. As regiões afetadas pelas intensas chuvas ficam caracterizadas pela alta nebulosidade, instabilidade. Essas duas condições afetam diretamente a agricultura do País.

4. Resultados

A figura 1 mostra o comportamento médio da radiação de ondas longas emergentes sob a América do Sul e suas vizinhanças, durante o período de 2001 a 2010.

Os valores baixos de OLR estão associados com a temperatura do topo das nuvens convectivas nos trópicos, ou indiretamente com precipitações, e os valores mais elevados estão associados com a temperatura de nuvens baixas de seus topos, ou a superfície terrestre.

Observa-se que em média grande parte da região noroeste do Brasil é caracterizada por atividade convectiva, que também se estende ao longo da Zona de Convergência Intertropical (ITCZ) no oceano Atlântico Tropical Norte.

Os valores baixos de OLR ao sul de 40° sul estão associados a passagem de sistemas frontais.

Destaca-se, nessa figura a presença das altas subtropicais do pacífico Sul e do Atlântico Sul, caracterizados por altos valores de OLR, e a subsidência.

A figura 3 mostra o padrão espacial do 1º modo da EOF da variável OLR, período de 2001-2010, a escala a direita se refere a amplitude do sinal. Esse padrão espacial reflete a presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul, que se estende da Amazônia até o Oceano Atlântico Sudoeste, por outro lado as anomalias positivas OLR centradas no sul do Brasil refletem as áreas de subsidência associadas às Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), tipicamente ao longo da ZCAS, durante o período de verão observa-se atividade convectiva e conseqüentemente a precipitação.

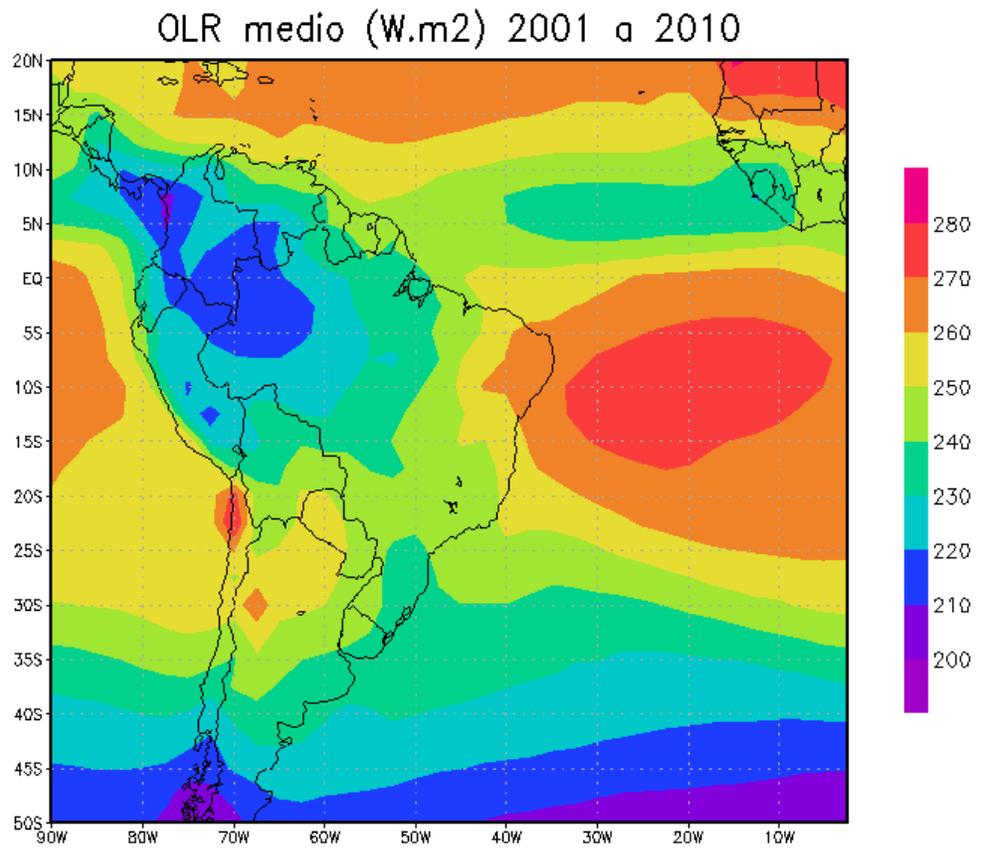
A figura 3 ilustra uma série temporal do 1º modo da OLE, período de 2001-2002. Nota-se que em algumas situações como em 27/03 e 29/04 de 2001 a amplitude do padrão espacial do 1º modo de EOF é bem expressiva. A periodicidade dos mínimos e máximos dessa série temporal evidencia a natureza intra-sazonal, aproximadamente trinta dias do 1º modo.

5. Conclusões

Através do estudo do POP, EOF para desenvolver e interpretar os sistemas meteorológicos que afetam a América do Sul, em destaque o Brasil, e a partir dos resultados obtidos, tem-se que a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um dos principais sistemas atuante na América do Sul, e demarcando o período de seca e estiagem no nordeste do Brasil, outro principal sistema atuante no noroeste da América do Sul, e do Brasil é a Zona de Convergência Intertropical (ITCZ) delimitando uma região com extensa faixa de nebulosidade, caracterizada por atividade convectiva.

6. Anexos

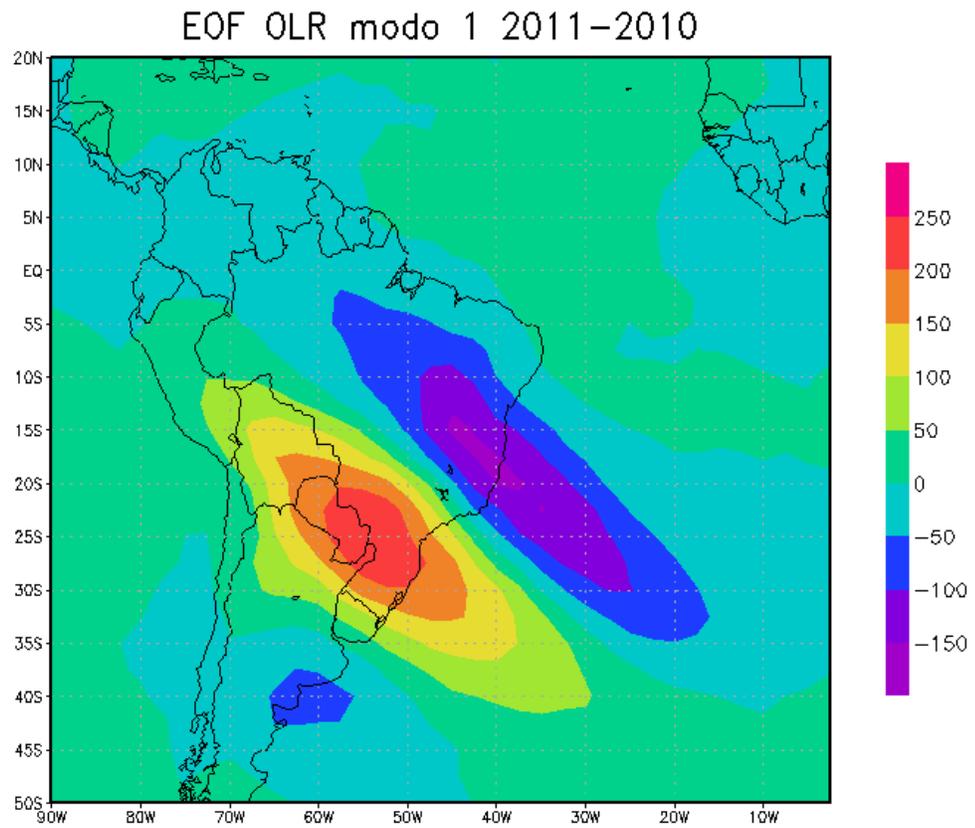
Figura 1



GrADS: COLA/IGES

2013-07-18-14:43

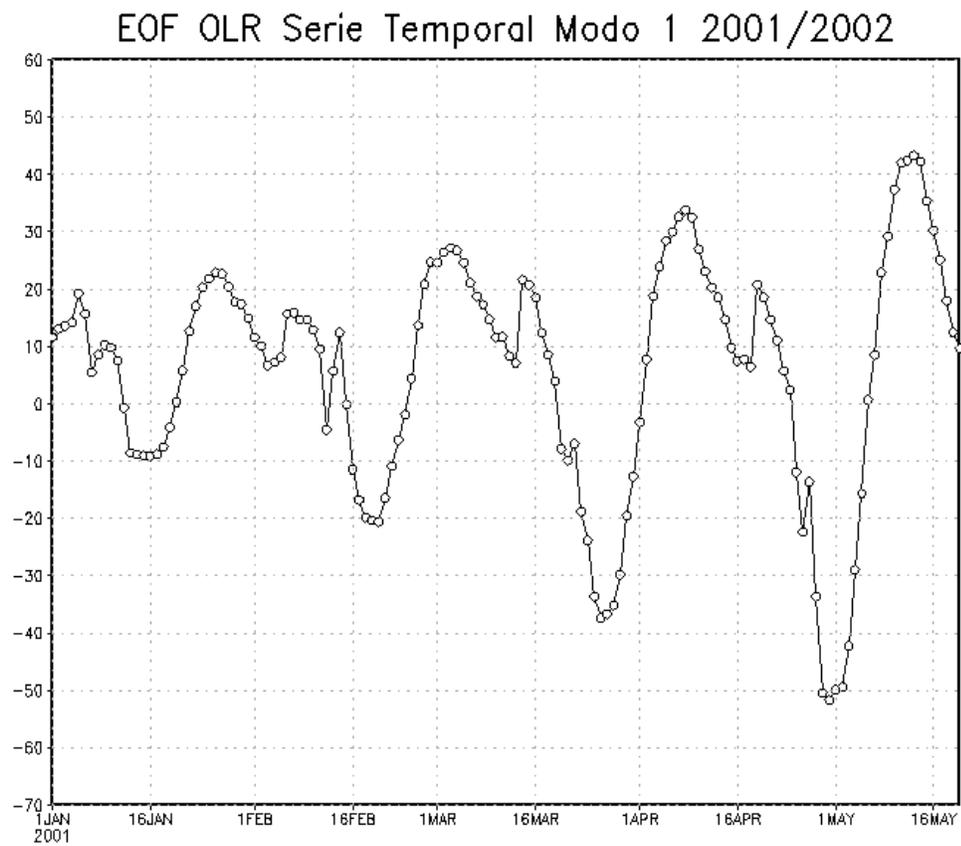
Figura 2



GrADS: COLA/IGES

2013-07-18-15:58

Figura 3



GRADS: COLA/IGES

2013-07-18-16:52

7. Referências Bibliográficas

BLUESTEIN, H. B. Synoptic-dynamic Meteorology in Midlatitudes. Oxford University Press, 1, 1993.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: persistence, intensity, form, extreme precipitation and relationships with intraseasonal activity. *J. Climate*, 17, p. 88-108, 2004.

CASARIN, D. P., KOUSKY, V. E. Anomalias de precipitação no sul do Brasil e variações na circulação atmosférica. *Rev. Bras. Meteor.*, v.1, p.83–90, 1986.

CASTRO, C. A. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Intraseasonal modes of variability affecting the South Atlantic Convergence Zone. *International Journal of Climatology*, UK, v. 26, p. 1165-1180, 2006.

De SOUZA, E.B.; AMBRIZZI, T. Modulation of the intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden Julian oscillation. *International Journal of Climatology*, v. 26, p. 1759-1776, 2006.

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E. Vórtices ciclônicos da alta troposfera no oceano Atlântico Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 92, p. 19, 28, 1986.

GAN, M. Ciclogêneses e Ciclones sobre a America do Sul. 185 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, São José dos Campos, 1992.

GRIMM, A. M.; SILVA DIAS, P. L. Use of barotropic models in the study of extratropical response to tropical heat sources. *Journal of Meteorological Society of Japan*. v.73, p.765-780, 1995.

HASSELMANN, K. F. PIPS and POPS. The reduction of complex dynamical systems using Principal Interaction and Oscillatio Patterns. J. Geophys. Res., v.93, p.11015- 11021, 1988.

KALNAY, E., M. KANAMITSU, R. KISTLER, W. COLLINS, D. DEAVEN, L. GANDIN, M. IREDELL, S. SAHA, G. WHITE, J. WOOLLEN, Y. ZHU, M. CHELLIAH, W. EBISUZAKI, W. HIGGINS, J. JANOWIAK, K. C. MO, C.ROPELEWSKI, J. WANG, A. LEETMAA, R. REYNOLDS, R. JENNE AND D. JOSEPH. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bulletin of the American Meteorological Society 77: 437-471, 1996.

KODAMA, Y. Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zones, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of Subtropical Frontal Zones. Journal of Meteorological Society of Japan, 70, n.4, p. 813-835, 1992.

KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American Sector. Revista Brasileira de Meteorologia, 3, p. 217-231, 1988.

KOUSKY, V. E. & M. T. KAYANO, Principal modes of outgoing longwave radiation and 250-mb circulation for the South American sector. J. Climate, 1131-1143, 1994.

LIEBMANN, B.; SMITH, C. A. Description of complete (interpolated) outgoing longwave radiation data set. Bulletin of the American Meteorological Society, v.77, p.1275-1277, 1996.

LIEBMANN, B.; KILADIS, G.N.; MARENGO, J.A; AMBRIZZI, T.; GLICK, J.D. Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic Convergence Zone. J. Climate, v.12, p.1877-1891, 1999.

MADDEN, R.A. and P. R. JULIAN, Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. *J. Atmos. Sci*, 28, 702-708, 1971.

_____, Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period. *J. Atmos. Sci*, 29, 1109-1123, 1972.

_____, Observations of the 40-50 day tropical oscillation - a review. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 814-837, 1994.

NOGUÉS-PAEGLE, J.; BYERLE, A.; MO, K.C. Intraseasonal Modulation of South American Summer Precipitation. *Monthly Weather Review*, v.128, p.837-850, 2000.

RAMIREZ, M. C. V.; KAYANO, M. T.; FERREIRA, N. J. Statistical analysis of upper tropospheric vortices in the vicinity of northeast Brazil during the 1980-1989 period. *Atmosfera*, v. 12, n. 2, p. 75-88, apr. 1999.

VON STORCH, H., BRUNS, T. FISCHER-BRUNS, HASSELAMNN, K. Principal Oscillation Pattern Analysis of the 30 to 60 day oscillation in a General Circulation Model equatorial troposphere. *J. Geophys.* v.93, n.D9, p.11,022 - 11,036, 1988.