

PROPAGAÇÃO DE ONDAS EXTRATROPICAIS E A ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL

T. Ambrizzi (1); José A. Marengo; Brant Liebmann; George N. Kiladis; John D. Glick
Departamento de Ciências Atmosféricas / IAG – USP (ambrizzi@model.iag.usp.br)

ABSTRACT

Relationships between deep convection over South America and the atmospheric circulation are examined, with emphasis on submonthly variations of the South Atlantic Convergence Zone (SACZ). Outgoing Longwave Radiation (OLR) is used as a proxy for convection, while associated circulation patterns are depicted by the NCEP reanalysis data. Correlations between submonthly (2-30 day) OLR in the vicinity of the SACZ and 200 mb streamfunction reveal the preferred path of Rossby wave energy impinging on the SACZ from the midlatitudes of the Southern Hemisphere. Episodes of enhanced convection within the SACZ, indicated by negative OLR anomalies, occur at the leading edge of upper-level troughs propagating into the region. We speculate that the relatively stable position of the SACZ may be associated with a Rossby wave guide, which is ultimately related to the large-scale circulation driven by sources and sinks of diabatic heating.

1. INTRODUÇÃO

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é uma nebulosidade característica dominante durante o verão na faixa subtropical da América do Sul (AS) e parte oeste do oceano Atlântico Sul. É facilmente observada em mapas climatológicos de Radiação de Onda Longa (ROL, veja Fig.1), nuvens altas (p.ex., Kodama, 1993), e precipitação (p.ex., Nogués-Paegle e Mo, 1997). Normalmente, a ZCAS é vista como uma banda de nuvens que parecem emanar ou mergir com a convecção da bacia Amazônica, estendendo na direção sudeste da América do Sul e alcançando o oceano Atlântico Sul.

A ZCAS varia em muitas escalas de tempo, embora ela possa persistir por mais de 10 dias algumas vezes (p.ex., Figueroa et al, 1995). Casarin e Kousky (1986), Kiladis e Weickmann (1992a), Nogués-Paegle e Mo (1997) e Lenters e Cook (1998) sugerem que existe uma ligação entre as variações da ZCAS e a oscilação de Madden e Julian (OMJ; Madden e Julian, 1994). Vários destes estudos mostraram que a ZCAS varia como parte de um dipolo, sendo que uma intensificação da ZCAS é associado com uma alta anômala de ROL centrada sobre o Uruguai e estendendo para a Argentina. Este dipolo, cujos centros são alongados na direção de noroeste para sudeste, sugere uma forçante do tipo Ondas de Rossby propagando na direção do equador (p.ex., Kiladis e Weickman, 1992b, 1997). Ambrizzi et al (1994), usando um modelo baroclínico com escoamento básico climatológico de Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF), mostraram que uma forçante na região da Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) pode influenciar a região da ZCAS através da propagação de ondas de Rossby. Esta atividade de onda parece se propagar ao longo de um guia de ondas de Rossby, primeiro em direção do pólo até alcançar a latitude de retorno em médias latitudes do Hemisfério Sul (HS) e então para o norte próximo a AS (p.ex., Hoskins e Ambrizzi, 1993). Para altas frequências, Kiladis e Weickmann (1992a, 1997) encontraram evidências que variações da ZCAS podem estar associadas com atividades de ondas de regiões extratropicais em escalas de tempo sub-mensais (6-30 dias).

O principal objetivo deste estudo é documentar e entender as circulações de grande escala, mais especificamente as atividades de ondas extratropicais, que podem influenciar a variabilidade da convecção da ZCAS durante o período de DJF para escalas de tempo menores que um mês.

2. DADOS E METODOLOGIA

Usaremos neste estudo os dados da reanálise do NCEP (National Centers for Environmental Prediction) e dados climatológicos de ROL. O primeiro representa as circulações de grande escala e o segundo serve com um indicador de convecção profunda. Ambos os dados encontram-se em uma grade de $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ de longitude e latitude.

Uma técnica de regressão linear, descrita em detalhes por Kiladis e Weickmann (1992a) é usada para examinar as estruturas horizontal e vertical dos modos típicos de circulação associados com convecção profunda durante a estação DJF. Os dados temporais foram submetidos a um filtro de

Lanczos com 121 pesos diários. Os dados do preditor ROL foram filtrados com um filtro banda alta, que retêm flutuações com uma escala de tempo menor do que 30 dias, o que resulta em um filtro passa banda de 2-30 dias, removendo o ciclo sazonal e excluindo a variabilidade devido a OMJ. Ciclos diurnos também foram removidos.

Para estabelecer uma relação entre a convecção profunda e a circulação, o ROL filtrado para uma região base de tamanho de 10° quadrados é regredido contra as componentes meridional e zonal do vento para cada ponto de grade global. Este procedimento produz uma equação de regressão separada entre o ROL na região base e o vento para cada ponto de grade global e para cada nível de pressão. O preditor ROL é também regredido contra ele mesmo para todos os pontos de grade. Relações de regressão defasadas também serão usados para examinar os sinais da evolução da convecção e circulação ao longo do tempo.

Todos os mapas mostrados aqui, tem um nível de confiança superior a 95% no domínio global (Livezey e Chen, 1983). Discussões adicionais sobre significância estatística podem ser obtidos em Kiladis e Weickmann (1992a, 1997).

3. RESULTADOS

A média de DJF de ROL é mostrado na Fig.1. Enquanto a convecção profunda no sul da bacia Amazônica é a característica dominante nesta figura, há evidências de uma extensão na direção sudeste de valores baixos de ROL chegando ao Atlântico, sugerindo a posição média da ZCAS. O padrão de ROL é consistente com o padrão de precipitação média mostrado por Nogués-Paegle e Mo (1997).

Para examinar as anomalias de circulação associadas com variações submensais na ZCAS, nós regredimos o ROL filtrado 2-30 dias sobre uma caixa de 10° ($15^{\circ}\text{S}-25^{\circ}\text{S}$, $50^{\circ}\text{W} - 40^{\circ}\text{W}$) dentro da ZCAS, contra vários parâmetros dos dados da reanálise. Fig.2 mostra a evolução da função de corrente de 2 dias antes (Dia -2) para dois dias depois (Dia +2) do pico em convecção na ZCAS, onde definimos que ocorresse na região base no dia 0. Também plotamos os vetores de vento estatisticamente significantes. No Dia -2 (Fig.2a), uma perturbação ciclônica está localizada ao sul da baixa de ROL sobre a costa leste do Brasil fazendo parte de um trem de ondas orientado na direção noroeste/sudeste, entrando na região a partir do Pacífico sul. A medida que o cavado amplifica, a região de baixa ROL expande para o equador e sudeste, formando um sinal característico de nebulosidade ZCAS no Dia 0 (Fig.2b). No Dia +2 (Fig.2c) o cavado troposférico se enfraqueceu, embora a dispersão de energia através do trem de ondas cruzando o equador pelo Atlântico seja evidente. O cavado associado com o sinal de ROL fica quase-estacionário durante toda a sequência em oposição a parte sul do trem de ondas que mostra uma progressão mais rápida para leste.

Fig.3 mostra uma projeção estéereográfica polar do Dia -4 da sequência correspondente a Fig.2 para a função de corrente em 200mb. As perturbações do trem de ondas que antecedem a nebulosidade da ZCAS seguem uma rota de grande círculo vindo da região da Nova Zelândia, através de altas latitudes do Pacífico Sul e dirigindo-se para o equador sobre a AS. Este é um dos caminhos preferenciais de dispersão de energia isolados por Ambrizzi e Hoskins (1997), que mostraram a existência de um guia de ondas de Rossby ao longo do jato do Pacífico Sul durante o verão do HS usando experimentos idealizados de um modelo baroclínico. Desta forma, a energia de onda inicial para forçar as perturbações da ZCAS, aparentemente originaram-se fora dos trópicos.

Uma série de mapas ilustrando a regressão entre o ROL e ele mesmo são mostrados na Fig.4. Extendendo esta sequência para Dia -6 (Fig.4a), o movimento em direção ao equador do sinal de ROL parece estar embebido em um trem de ondas, com valor negativo (positivo) de ROL a frente dos cavados (cristas) da Fig.2. A regressão simultânea (Fig.4c) lembra o padrão do 5o. modo das Funções Ortogonais Empíricas rodados encontrados por Nogués-Paegle e Mo (1997), com aumento da convecção na ZCAS e supressão de convecção na parte sudoeste.

O campo climatológico de DJF do vetor **E** sobre a AS é mostrado na Fig.5. Explicações detalhadas sobre este parâmetro são encontrados em Hoskins et al (1983) e Kiladis (1998). Sob determinadas simplificações, o vetor **E** fornece uma boa aproximação da direção preferencial de propagação da velocidade de grupo das ondas de Rossby. Esta figura mostra que a dispersão de ondas de Rossby na direção do equador é dominante na principal faixa de trajetórias de ciclones (*storm tracks*) entre 40°S e 50°S em todo este setor, como é representado pela grande amplitude dos vetores **E** direcionados para o norte na parte leste dos Andes. A região onde os vetores **E** se estendem dentro dos trópicos é aproximadamente a longitude climatológica da ZCAS, em acordo com o guia de onda preferencial mostrado por Ambrizzi e Hoskins (1997). Desta forma, a preferência para as atividades de

ondas propagarem para baixas latitudes e nas vizinhanças da ZCAS parecer ser um fator determinante para a localização e quase-periodicidade da convecção na mesma.

4. SUMÁRIO

Usando regressões defasadas da circulação atmosférica e ROL e entre o ROL e ele mesmo, é sugerido que variações submensais no campo de nuvens que define a ZCAS são influenciadas por ondas que se propagam dentro da região, vindas dos extratropicais. Embora uma grande fração da variabilidade convectiva dentro da ZCAS não é ainda explicada pelos resultados de regressão mostrados aqui, o sinal isolado por esta técnica, revelou o padrão "mais preferencial" da circulação associada com episódios de anomalias de baixa de ROL dentro da ZCAS. O sinal associado com a convecção da ZCAS parece ser aquele de uma onda de Rossby originada sobre o Pacífico oeste. Este resultado é consistente com outros estudos que relacionaram variações na ZCPS com aqueles da ZCAS (p.ex., Kalnay et al, 1986; Ambrizzi et al, 1994; Nogués-Paegle e Mo, 1997; Lenters e Cook, 1998).

5. REFERÊNCIAS

- Ambrizzi, T., P.L. Silva Dias, e A.M.Grimm, 1994: A comparison between barotropic and baroclinic remote responses associated with the SPCZ and SACZ. Anais do VIII Cong.Bras.Meteo., Belo Horizonte, MG, Vol.2, 85-87.
- Ambrizzi, T. e B.J. Hoskins, 1997: Stationary Rossby-wave propagation in a baroclinic atmosphere. Quart.J.Roy.Meteor.Soc., 123, 919-928.
- Casarin, D.P., e V.E. Kousky, 1986: Anomalias de precipitação no sul do Brasil e variações nas circulações atmosféricas. Rev.Bras. Meteo., 1, 83-90.
- Figueroa, S., P. Satyamurti, e P.L. Silva Dias, 1995: Simulation of the summer circulation over the South American region with an eta coordinate model. J.Atmos.Sci., 52, 1573-1584.
- Hoskins, B.J. e T. Ambrizzi, 1993: Rossby wave propagation on a realistic longitudinally varying flow. J.Atmos.Sci., 50, 1661-1671.
- _____, I.N. James, e G.H. White, 1983: The shape, propagation and mean-flow interaction of large-scale weather systems. J.Atmos.Sci., 40, 1595-1612.
- Kalnay, E., K.C. Mo, e J. Paegle, 1986: Large-amplitude, short-scale stationary Rossby waves in the Southern Hemisphere: observations and mechanistic experiments to determine their origin. J.Atmos.Sci., 43, 252-275.
- Kiladis, G.N., 1998: Observations of Rossby waves linked to convection over the eastern tropical Pacific. J.Atmos.Sci., 55, 321-355.
- _____, e K.M. Weickmann, 1992a: Circulation anomalies associated with tropical convection during northern winter. Mon.Wea.Rev., 120, 1900-1923.
- _____, e _____, 1992b: Extratropical forcing of tropical Pacific convection during Northern winter. Mon.Wea.Rev., 120, 1924-1938.
- Kodama, Y.-M., 1993: Large-scale common features of subtropical convergence zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ) part II: Conditions of the circulations for generating the STCZs. J.Meteor. Soc.Japan, 71, 581-610.
- Lenters, J.D., e K.H. Cook, 1998: Summertime precipitation variability over the South America: Role of the large-scale circulation. Mon.Wea.Rev., (in press).
- Livezey, R.E., e W.Y. Chen, 1983: Statistical field significance and its determination by Monte Carlo techniques. Mon.Wea.Rev., 111, 46-59.
- Madden, R., e P. Julian, 1994: Observations of the 40-50 day tropical oscillation - A review. Mon.Wea.Rev., 122, 814-837.
- Nogués-Paegle, J., e K.C. Mo, 1997: Alternating wet and dry conditions over the South America during summer. Mon.Wea.Rev., 125, 279-291.

AGRADECIMENTOS:

Os resultados apresentados neste estudo fazem parte de um trabalho mais geral aceito para publicação no Journal of Climate, tendo Brant Liebmann como o autor principal.

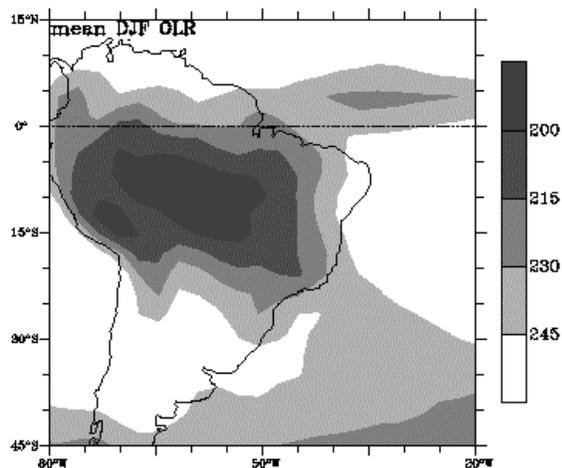


Fig.1: Média do ROL para DJF de 1979-1996. Sombreamento começa em 245 Wm^{-2} , com intervalo de 15 Wm^{-2} .

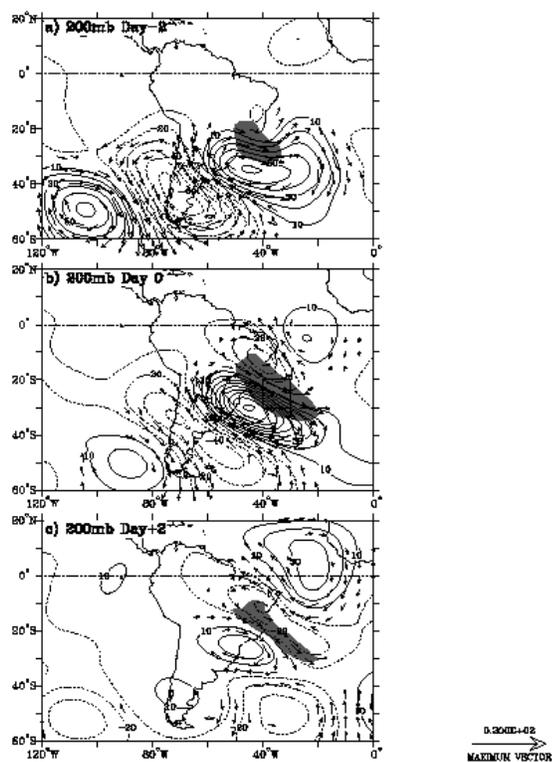


Fig.2: 6-30 dias da função de corrente e vento em 200mb e perturbações de ROL associadas com um desvio de 30 Wm na região $25 \text{ S}-15 \text{ S}, 50 \text{ } 40 \text{ W}$ durante DJF. (a) Dia -2, (b) Dia 0 e (c) Dia +2. Intervalo de contorno é $10 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

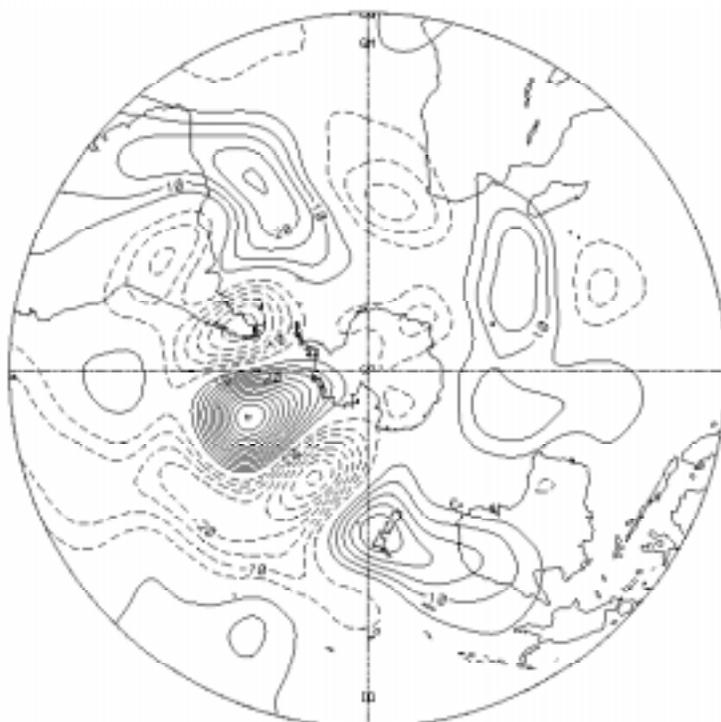


Fig.3: Como na Fig.2, exceto que a função de corrente lidera ROL por 4 dias e contornos são em intervalos de $5 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

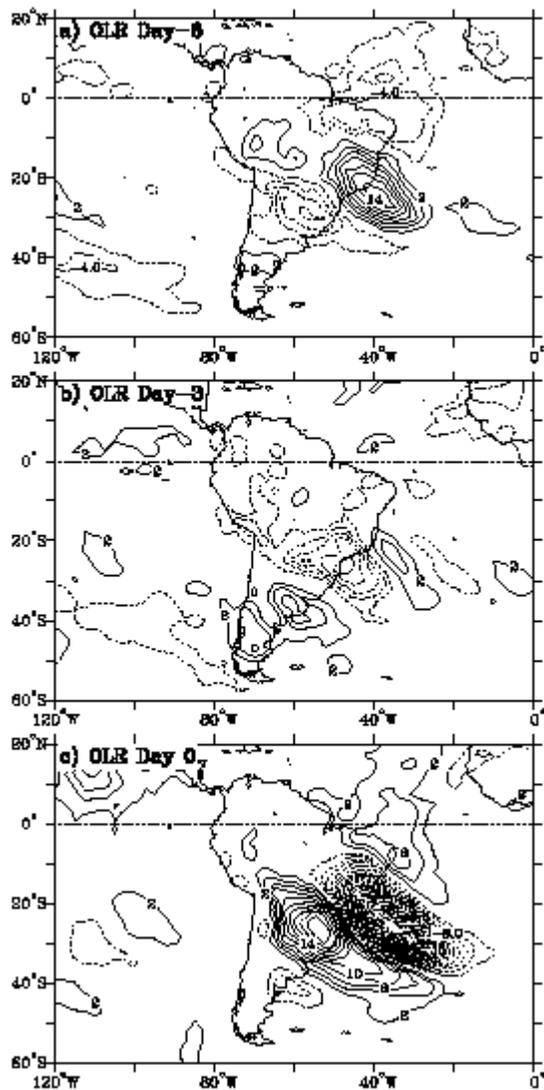


Fig.4: Como na Fig.2, exceto que a ROL é regredida contra ela mesmo. (a) Dia -6, (b) Dia -3, e (c) Dia 0. Intervalo de contorno é de 2 Wm^{-2} .

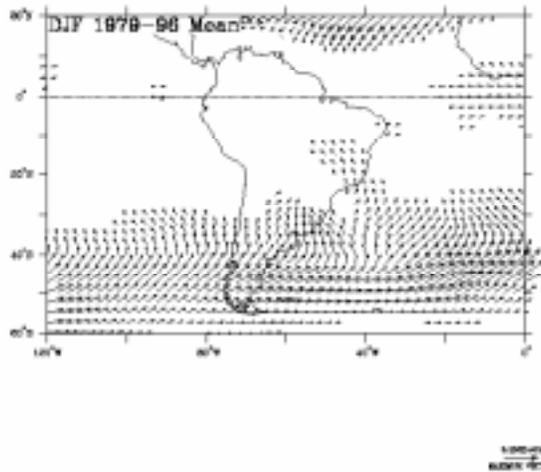


Fig.5: 200 mb 2-30 dias dos vetores E para a média climatológica de DJF. Os vetores maiores tem valores em torno de $100 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$, e os menores do que $15 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ não são mostrados.