

# MANUTENÇÃO DA CIRCULAÇÃO DE VERÃO SOBRE A AMÉRICA DO SUL: ESTUDO DE DOIS ANOS DE CONTRASTE

Marley Cavalcante de Lima Moscati e Vadlamudi Brahamananda Rao

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/MCT  
CP 515, São José dos Campos, SP, 12201-970  
e-mail: marley@met.inpe.br

## ABSTRACT

The features of atmospheric circulation over South America, during the summers (NDJF) of 1986-87 and 1988-89, associated with drought and flood events, respectively, over almost all Brazil, are studied from the point of view of the energetics. It is shown in this study that this circulation can be locally maintained by the balance of rotational ( $K_\psi$ ) and divergent ( $K_\chi$ ) kinetic energy ( $EPD \rightarrow K_\chi \rightarrow K_\psi$ ). The major role of the transfer of energy between divergent and rotational components are discussed.

## 1 - INTRODUÇÃO

O continente sul-americano, no qual o Brasil ocupa mais da metade de sua área, localiza-se quase totalmente dentro do cinturão tropical, o que lhe propicia características climáticas distintas, principalmente no seu regime de chuvas e de circulação. Boa parte do conhecimento sobre a dinâmica da circulação atmosférica sobre a América do Sul tem sido obtidos a partir de estudos de modelagem numérica (Silva Dias et al., 1983; Figueroa et al., 1995, entre outros). Entretanto, os mecanismos físicos responsáveis pela geração e pela manutenção desta circulação ainda não são bem compreendidos. Uma explicação destes mecanismos pode ser formulada através de considerações baseadas em balanços de grandezas conservativas, por exemplo, a energia cinética (K). Com algumas considerações, estes conceitos gerais podem ser aplicados a estudos regionais.

Uma metodologia largamente utilizada para estudar vários aspectos da dinâmica da circulação atmosférica em muitas regiões do globo (por exemplo, Krishnamurti e Ramanathan, 1982; Chen et al., 1988; Hurrell e Vincent, 1990) é a que considera a partição de K nas componentes rotacional ( $K_\psi$ ) e divergente ( $K_\chi$ ) (Chen e Wiin-Nielsen, 1976). Para a América do Sul, Lima (1996) mostrou que durante o verão, em altos níveis, o ciclo de energia cinética é da seguinte forma:  $EPD \rightarrow K_\chi \rightarrow K_\psi$ . A conversão de EPD para  $K_\chi$  é feita através do termo  $-\chi \nabla^2 \phi$ , que representa o papel das circulações verticais. A conversão entre  $K_\chi$  e  $K_\psi$  é feita principalmente através do termo  $(f + \zeta) \nabla \psi \cdot \nabla \chi$ , que expressa o papel da rotação da Terra e da vorticidade relativa, e os demais termos de interação (relacionados à divergência e ao movimento vertical), tem importância menor.

Neste trabalho, apresenta-se um estudo de casos considerando dois anos de contraste (NDJF 1986-87 e NDJF 1988-89, ano de El Niño moderado e ano de La Niña, respectivamente), caracterizados por seca e enchente, respectivamente, na maior parte do Brasil. Utilizando-se a partição da energia em  $K_\psi$  e em  $K_\chi$ , dá-se uma interpretação física do ciclo de energia cinética sobre a América do Sul e, assim, pode-se inferir os mecanismos responsáveis pelas anomalias de circulação atmosférica e de precipitação observadas nestes dois verões, com ênfase sobre o clima do Brasil.

## 2 - DADOS E METODOLOGIA

Utilizaram-se as análises globais obtidas do NMC (atual NCEP), das variáveis  $u$ ,  $v$ ,  $z$  e  $T$ , com truncamento R30, as 12 UTC, no nível de 200 hPa. O período original das séries temporais estende-se de 1 de novembro de 1985 a 31 de janeiro de 1991. Analisa-se dois verões (NDJF 1986-87 e NDJF 1988-89), e estes resultados são comparados com a média sazonal dos 5 anos. Nenhuma modificação significativa foi feita no modelo operacional do NMC durante estes verões, de forma a garantir a consistência dos dados (Trenberth e Olson, 1988; Kanamitsu e Saha, 1995). Com estes e outros dados derivados destes, foram calculados os termos de conversão de energia nas equações de balanço de  $K_\psi$  e  $K_\chi$ . As derivações destas equações são apresentadas em Lima (1996). Analisa-se os campos espaciais dos termos de conversão de energia, principalmente os termos  $(f + \zeta) \nabla \psi \cdot \nabla \chi$ ,  $-\chi \nabla^2 \phi$ , além dos campos de  $\chi$  e de  $\psi$ , nestes dois verões anômalos.

## 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A magnitude do termo  $f \nabla \psi \cdot \nabla \chi$  depende da orientação relativa dos vetores  $\nabla \psi$  e  $\nabla \chi$ , de tal forma que no Hemisfério Sul (HS), se  $\nabla \psi \cdot \nabla \chi < 0$ , o termo é positivo e a conversão é de  $K_\chi$  para  $K_\psi$ . O oposto ocorre se  $\nabla \psi \cdot \nabla \chi > 0$ . As Figuras 3.1a, b e c e 3.2a, b e c apresentam os campos espaciais mensais (novembro a fevereiro) para  $f \nabla \psi \cdot \nabla \chi$ ,  $\psi$  e  $\chi$ , respectivamente, para os dois verões estudados. A análise das Figuras 3.1b e 3.2b mostra que as principais características da circulação atmosférica de verão sobre a América do Sul são bem representadas pelo campo de  $\psi$ , sendo mais intensas no verão de 1986-87 do que no verão de 1988-89, que são: uma circulação anticiclônica sobre a Bolívia (Alta da Bolívia), um cavado sobre o oceano Pacífico leste e outro sobre o Atlântico Sul, e uma corrente de jato de oeste ( $40^\circ\text{S}$ - $60^\circ\text{S}$ ).

Em termos do campo  $\chi$ , como  $\nabla \cdot \vec{V}_H = -\nabla^2 \chi$ , o sinal positivo de  $\chi$  significa divergência em altos níveis (Lima, 1996). A análise das Figuras 3.1c e 3.2c mostra forte circulação divergente sobre a América do Sul nos dois verões, porém mais intensa no verão de 1988-89. Esta divergência em altos níveis está associada à circulação da Alta da Bolívia. Nos oceanos Pacífico Sudeste e Atlântico Sul é observada convergência em altos níveis, associada com a posição dos cavados oceânicos em altos níveis, como visto pelo campo de  $\psi$  (Figuras 3.1b e 3.2b). No verão de 1986-87 esta convergência é mais forte sobre o oceano Atlântico Sul, enquanto que no verão de 1988-89, ambos os oceanos são caracterizados por forte convergência em altos níveis.

A análise das Figuras 3.1a e 3.2a mostra que a contribuição do termo  $f \nabla \psi \cdot \nabla \chi$  é maior a partir de  $20^\circ\text{S}$ , onde o parâmetro de Coriolis começa a ficar importante. Se este termo variasse apenas devido à contribuição do  $f$ , o campo aumentaria continuamente para o sul. Entretanto, verificam-se centros de máximos valores positivos sobre o continente, coincidindo com a posição geográfica da ZCAS e centros de máximos valores negativos sobre os oceanos Pacífico Sudeste e Atlântico Sul, coincidindo com a região de saída do escoamento na corrente de jato de oeste do HS (Climanálise, 1986, 1987, 1988, 1989; Pezzi et al., 1996). O  $\nabla \psi$  não apresenta diferenças marcantes entre os dois verões e o  $\nabla \chi$  é mais forte no verão de 1988-89, nos dois oceanos. As maiores diferenças entre estes dois verões ocorreram no Pacífico Sudeste, como visto pela análise dos campos de  $\chi$  (Figuras 3.1c e 3.2c). Estes resultados enfatizam a contribuição das configurações espaciais de  $\chi$  e de  $\psi$ .

De um modo geral, o campo de  $\zeta$  (Figuras 3.3a, b e c) age em conjunto, porém, contrário ao campo de  $f$ , isto é, na região da saída do escoamento no jato subtropical as conversões de energia são do tipo  $K_\chi$  para  $K_\psi$ , e o contrário na região da ZCAS. No HS, Hurrell e Vincent

(1990) observaram que a região mais dominante de troca de  $K_\chi$  para  $K_\psi$  foi na ZCAS, enquanto no Pacífico leste e no Atlântico Sul, esta conversão de energia não é tão nítida. O campo de  $-\chi \nabla^2 \phi$  (não apresentado) mostrou, na média de 5 anos, grande conversão de EPD para  $K_\chi$  sobre o continente, associado com a região de forte atividade convectiva (Alta da Bolívia e ZCAS). Em ambos os verões, este termo foi mais intenso na região equatorial do HN, talvez devido à circulação ser mais intensa neste hemisfério, nesta estação do ano, e o jato subtropical (em 30°N) também ser mais forte.

#### 4 - CONCLUSÕES

Neste trabalho são estudadas as características interanuais da circulação de verão sobre a América do Sul, nos verões de 1986-87 (ano de El Niño moderado) e de 1988-89 (ano de La Niña). As principais diferenças entre estes verões são discutidas através do ciclo de energia cinética nas componentes  $K_\chi$  e  $K_\psi$ . Em NDJF de 1986-87 a circulação atmosférica de grande escala sobre a América do Sul foi mais forte. O padrão divergente sobre a América do Sul neste verão sugere condições de seca sobre o Nordeste do Brasil (NEB), devido a intensificação da circulação de Hadley (visto pelo termo  $-\chi \nabla^2 \phi$ ) durante o fenômeno El Niño. No verão de 1988-89, a circulação divergente foi mais forte quando comparado ao verão de 1986-87, concorrendo para condições mais úmidas sobre o continente, principalmente sobre o NEB. A magnitude das interações entre  $\psi$  e  $\chi$  nestes dois verões, visto pelo termo  $(f + \zeta) \nabla \psi \cdot \nabla \chi$ , ocorre devido à orientação do  $\nabla \psi$  e do  $\nabla \chi$ , sendo fortemente governada por flutuações na orientação do campo de  $\chi$ .

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chen, T.-C.; Wiin-Nielsen, A.C. On the kinetic energy of the divergent and nondivergent flow in the atmosphere. **Tellus**, 28(6):486-498, 1976.

Chen, T.-C.; Tzeng, R.-Y.; Van Loon, H. A study on the maintenance of the winter subtropical jet streams in the northern hemisphere. **Tellus**, 40A(5):392-397, Oct. 1988.

**Climanálise** São José dos Campos, INPE, v. 1(12), 1986; v. 2(1-2), 1987; v. 3-4(1-12), 1988-1989.

Figuroa, S.N.; Satyamurti, P.; Silva Dias, P.L. Simulations of the summer circulation over the South American region with an eta coordinate model. **J. Atm. Sci.**, 52(10):1573-1584, May 1995.

Hurrell, J.W.; Vincent, D.G. Relationship between tropical heating and subtropical westerly maxima in the Southern Hemisphere during SOP-1, FGEE. **J. Climate**, 3(7):751-768, July 1990.

Kanamitsu, M.; Saha, S. Spectral budget analysis of the short-range forecast error of the NMC medium-range forecast model. **Mon. Wea. Rev.**, 123(6):1834-1850, June 1995.

Krishnamurti, T.N.; Ramanathan, Y. Sensitivity of the monsoon onset to differential heating. **J. Atm. Sci.**, 39(6):1290-1306, June 1982.

Lima, M.C. **Manutenção da circulação atmosférica sobre a América do Sul**. Tese de Doutorado em Meteorologia. São José dos Campos, INPE, 1996. 222 p. (INPE-6646-TDI/623).

Pezzi, L.P.; Rosa, M.B.; Batista, N.N.M. A corrente de jato subtropical sobre a América do Sul. **Climanálise Especial**, ed. Comemorativa de 10 anos, out. 1996, p. 155-162.

Silva Dias, P.L.; Schubert, W.H.; DeMaria, M. Large-scale response of the tropical atmosphere to transient convection. **J. Atmo. Sci.**, 40(11):2689- 2707, Nov. 1983.

Trenberth, K.E.; Olson, J.G. An evaluation and intercomparison of global analysis from the National Meteorological Center and the European centre for Medium Range Weather Forecasts. **Bull. Amer. Meteorol. Soc.**, 69(9):1047-1057, Sept. 1988.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais ao suporte computacional dado pelo CPTEC/INPE/MCT e o apoio financeiro dado pelo CNPq e pela FAPESP ao primeiro autor deste trabalho.

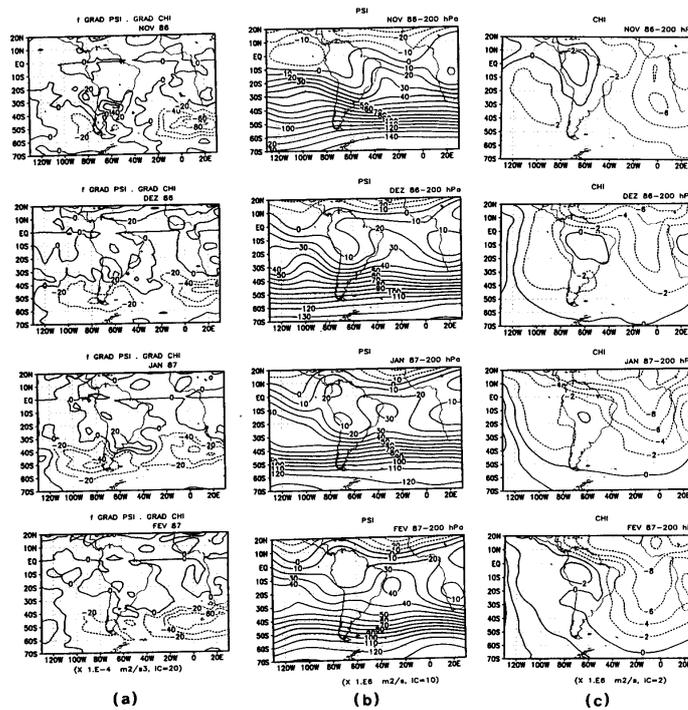


Fig. 3.1 - Campos espaciais mensais (desde novembro de 1986 até fevereiro de 1987), para: a)  $f \nabla \psi \cdot \nabla \chi$  ( $\times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$ ), b)  $\psi$  em 200 hPa ( $\times 10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ), c)  $\chi$  em 200 hPa ( $\times 10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ).

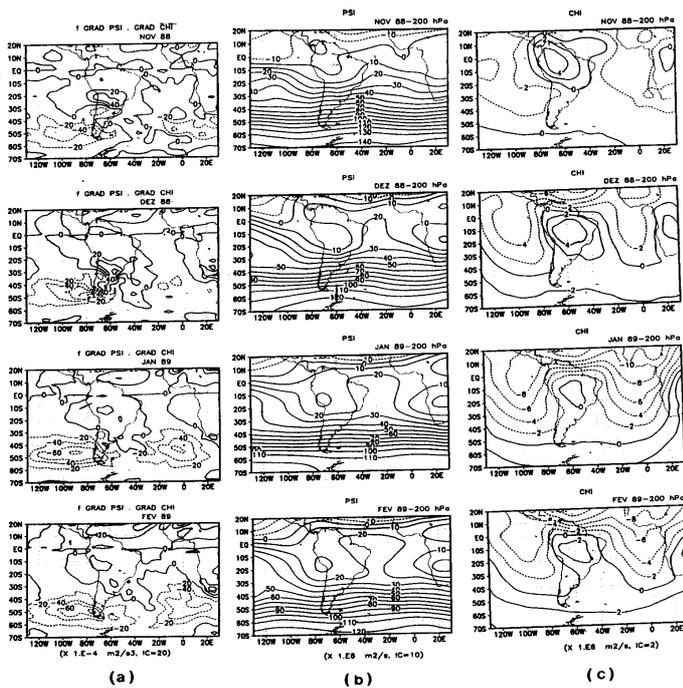


Fig. 3.2 - Campos espaciais mensais (desde novembro de 1988 até fevereiro de 1989), para: a)  $f \nabla \psi \cdot \nabla \chi$  ( $x 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$ ), b)  $\psi$  em 200 hPa ( $x 10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ), c)  $\chi$  em 200 hPa ( $x 10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ).

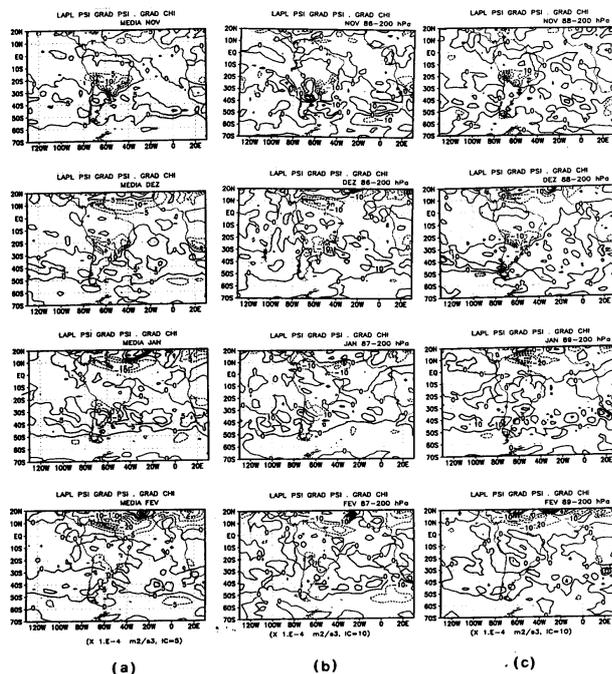


Fig. 3.3 - Campos espaciais mensais (desde novembro até fevereiro) de  $\zeta \nabla \psi \cdot \nabla \chi$  ( $x 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$ ), para: a) média mensal de 5 anos, b) verão de 1986-87, c) verão de 1988-89.