

MANUTENÇÃO ZONAL DA CORRENTE DE JATO SOBRE A AMÉRICA DO SUL DURANTE O FENÔMENO EL NIÑO E LA NIÑA

Gilsânia de S. Cruz (1); V.B. Rao; Manoel Alonso Gan

(1) FUNCATE

Divisão de Ciências Meteorológicas/INPE (gilsania@funcate.org.br)

ABSTRACT

The maintenance of the jet stream was studied for El Niño and La Niña events through the definition of kinetic energy of the basic state and eddies. During El Niño events the jet stream intensity is kept by a conversion of turbulent available potential energy into turbulent kinetic energy ($Pe \Rightarrow Ke$), through vertical movements followed by a conversion of kinetic turbulent energy into kinetic energy of the basic state ($Ke \Rightarrow Km$), and a conversion of kinetic energy of the basic state into potential energy of the basic state ($Km \Rightarrow Pm$), owing to forced movements. During La Niña events the jet stream loses kinetic energy of the basic state to the forced movements ($Km \Rightarrow Pm$) and to the baroclinic disturbances ($Km \Rightarrow Ke$), preceded by a conversion of turbulent potential energy into turbulent kinetic energy ($Pe \Rightarrow Ke$) through vertical movements, thus weakening the jet stream.

1. INTRODUÇÃO

Devido a natureza persistente da corrente de jato, principalmente na estação de inverno, e a grande influência que a mesma tem sobre as variações de tempo sobre a América do Sul, é de grande importância aprimorar os conhecimentos dos mecanismos que mantêm essa corrente intensa sobre essa região, já que o fluxo de momentum apresenta um papel crucial na manutenção da distribuição média zonal do vento zonal na atmosfera terrestre. Desde o reconhecimento da corrente de jato, até atualidade, foram realizadas alguns estudos explorando o mecanismo que mantêm a corrente de jato, mas abrangendo o Hemisfério Norte. Dentre eles Blackmon *et al.* (1977) ilustraram a manutenção da CJS com a circulação ageostrófica dirigida por ondas ciclônicas. Holopainen (1978) também mostrou o mecanismo de circulação ageostrófica em termos de balanço de energia cinética. Mahlman (1973) estudou o balanço de energia cinética na corrente de jato polar.

O estudo da energética da corrente de jato, neste trabalho, foi realizado utilizando-se o conceito de energia cinética do estado básico e turbulento. Com o objetivo de conhecer melhor os mecanismos que mantêm a corrente de jato sobre a América do Sul durante o fenômeno El Niño (1983, 1988, 1989) e La Niña (1984, 1988, 1989), destacando-se os possíveis contrastes entre estes dois fenômenos. Para isto utilizou-se os dados diários de altura geopotencial (z), componente zonal (u) e meridional (v) no nível de 200 hPa do National Center for Environmental Prediction (NCEP).

2. METODOLOGIA

A fim de interpretar como é mantida a corrente de jato através das trocas de energia cinética, realizou-se o cálculo de cada termo das equações do estado básico (2.2) e turbulento (2.3), para a área de estudo (20-55°S; 20-90°W). Para cada um dos termos, foi observado a ordem de grandeza e seu grau de importância na manutenção da corrente de jato, objetivando-se uma maior confiabilidade nos resultados.

A energia cinética total (K) pode ser expressa como:

$$\frac{1}{2} \left(\overline{u^2 + v^2} \right) = \frac{1}{2} \left(\overline{u^2} + \overline{v^2} \right) + \frac{1}{2} \left(\overline{u'^2 + v'^2} \right) \quad (2.1)$$

$$K = K_m + K_e$$

Obtêm-se as equações da energia cinética utilizando as componentes zonal e meridional da equação do movimento. Fazendo algumas manipulações algébricas, chega-se as equações da energia cinética do estado básico (2.2) e turbulento (2.3), que na forma simbólica, podem ser expressas como:

$$VK_m = -AK_m - C(K_m, P_m) - D_m - C(K_m, K_e) \quad (2.2)$$

$$VK_e = -AK_e - C(K_e, P_e) - D_e - FE + C(K_m, K_e) \quad (2.3)$$

Onde:

Os termos VK_m e VK_e do lado esquerdo das equações representam as mudanças locais de energia cinética do estado básico e turbulento. Do lado direito, AK_m e AK_e representam advecção de energia cinética do estado básico e turbulento. Os termos $C(K_m, P_m)$ e $C(K_e, P_e)$ mostram as conversões entre energia cinética do estado básico e a potencial disponível do estado básico e vice-versa, através de movimentos verticais induzidos pelas circulações diretas e indiretas (células de Hadley e Ferrel); e conversões entre energia cinética da perturbação e a potencial disponível da perturbação através do escoamento vertical.

Os termos (D_m) e (D_e) conceitualmente representam processos friccionais, mas quando computados como um resíduo como neste caso, estes também representam uma transferência de energia do estado básico e turbulento entre movimentos de escala de grade e subgrade devido a processos turbulentos não resolvíveis, esses termos são frequentemente chamados termos de dissipação ou resíduo. E o termo FE simboliza os fluxos externos, que aparecem devido ao estudo estar sendo realizado para uma região limitada, como América do Sul.

O termo $C(K_m, K_e)$, que aparece nas equações (2.2) e (2.3) com o sinal contrário, é o responsável pela conversão entre energia cinética do estado básico e turbulento, sendo o mais importante para a manutenção de energia.

3. RESULTADOS

A corrente de jato em média, caracteriza-se por regiões de forte concentração de energia cinética. O balanço médio de energia cinética, foi obtido por uma média na área de estudo (20-55°S, 20-90°W), onde foram observados e analisados os ventos de oeste no nível de 200 hPa, para o período de inverno, utilizando-se três anos em que se constatou El Niño e três de La Niña. Uma visão média da variação do ciclo de energia na corrente de jato para cada fenômeno pode ser observada nas tabelas 3.1 e 3.2.

TABELA 3.1 – BALANÇO MÉDIO DE ENERGIA CINÉTICA DO ESTADO BÁSICO (Km)

PERÍODO	A _{km} (10 ⁻⁴ m ² s ⁻³)	C(Km,Pm) (10 ⁻⁴ m ² s ⁻³)	C(Km,Ke) (10 ⁻⁴ m ² s ⁻³)	Km (m ² s ⁻²)	Dm (10 ⁻⁴ m ² s ⁻³)
JJA/83	-0.6805	-15.3207	-0.7053	527.464	-16.9205
JJA/87	-2.7278	-5.9267	1.7226	481.204	-7.2775
JJA/93	-2.5142	-9.1517	4.5715	474.015	-7.8347
MÉDIA	-1.9742	-10.1330	1.8629	494.228	-10.6776
JJA/84	-6.6878	-1.0668	-1.9872	459.169	-9.9861
JJA/88	-9.9490	0.9742	-3.6154	506.961	-13.0671
JJA/89	-0.4186	-6.6299	2.1076	374.455	-4.9304
MÉDIA	-5.6851	-2.2508	-1.1650	446.862	-9.3278

TABELA 3.2 - BALANÇO MÉDIO DE ENERGIA CINÉTICA TURBULENTA (Ke)

PERÍODO	FE (10 ⁻⁴ m ² s ⁻³)	A _{ke} (10 ⁻⁴ m ² s ⁻³)	C(Ke,Pe) (10 ⁻⁴ m ² s ⁻³)	C(Ke,Km) (10 ⁻⁴ m ² s ⁻³)	Ke (m ² s ⁻²)	De (10 ⁻⁴ m ² s ⁻³)
JJA/83	0.3567	-0.4961	1.6772	0.7053	159.306	2.2431
JJA/87	2.9903	-0.2092	4.1605	-1.7226	169.002	5.219
JJA/93	5.0090	2.0850	-0.2817	-4.5715	170.068	2.2327
MÉDIA	2.7826	0.4599	1.8520	-1.8629	166.125	3.2316
JJA/84	-0.4876	-0.1625	-1.6884	1.9872	144.92	3.0255
JJA/88	-2.1420	-1.1298	3.6149	3.6154	170.583	3.9585
JJA/89	3.1478	0.4332	1.4063	-2.1076	138.089	2.8797
MÉDIA	0.1727	-0.2864	2.2365	1.1650	151.197	3.2979

3.1 – El Niño

Durante este evento a energia esteve mais concentrada nos termos do estado básico do que nos termos turbulentos. De uma forma geral houve uma constante conversão de energia cinética turbulenta para cinética do estado básico (Ke⇒Km). Note que para todos os anos houve uma contínua troca de energia cinética do estado básico para potencial disponível (Km⇒Pm), resultado este coerente, já que a região de estudo é compreendida entre as latitudes de 20-55°S, essencialmente dominada pela célula de Ferrel. Mas segundo Holopainen (1965), no inverno espera-se que a conversão de Pm para Km seja dominante devido a influência da circulação de Hadley, embora no verão este tipo de conversão não seja tão importante para o balanço de energia cinética. A grande transformação de energia cinética não resulta em correspondente grande variação local de energia cinética devido a dois processos adicionais, transporte horizontal de calor e dissipação.

Houve uma contínua perda friccional de energia cinética do estado básico (Dm). Valores negativos do termo de dissipação representam mudanças de energia de escala de grade para escala de subgrade e uma perda friccional da viscosidade e dissipação de energia. Para a energia cinética turbulenta, os

valores positivos do termo de dissipação representam processos de subgrade como uma fonte de energia. Isto pode ocorrer frequentemente quando o termo de dissipação é calculado como um resíduo, como é o caso. Dados e processos computacionais imperfeitos são fatores responsáveis por estes valores positivos.

No geral as trocas de energia entre energia cinética turbulenta e potencial disponível turbulenta se deram no sentido desta última para a primeira ($Pe \Rightarrow Ke$), devido a ascensão de ar quente e subsidência de ar frio

Durante todo o período Ke recebeu energia através dos fluxos externos (FE), essa pode ser a causa de um contrabalanço na manutenção de energia, já que se trata de um processo externo a região de estudo.

3.2 – La Niña

Neste período a energia esteve mais concentrada nos termos turbulentos do que no estado básico. Houve uma significativa troca de energia cinética do estado básico para cinética da perturbação ($Km \Rightarrow Ke$) (Instabilidade Barotrópica).

Observe que não houve uma diferença nos processos dissipativos em relação aos dois fenômenos em questão, ou seja, tem-se uma perda de energia cinética do estado básico por processos friccionais e um ganho através deste mesmo processo como fonte de energia.

No geral houve uma contínua conversão de energia potencial para cinética turbulenta ($Pe \Rightarrow Ke$), devido aos movimentos verticais de ascensão de ar quente e subsidência de ar frio.

Em praticamente todos os anos Ke perde energia através dos fluxos externos (FE), diferenciando-se do período de El Niño, a não ser o ano de 1989, em que ocorre um ganho de Ke através desses fluxos.

4. CONCLUSÃO

De um forma geral conclui-se observando a Figura 4.1, que durante os anos em que o fenômeno El Niño esteve presente, a corrente de jato em média se manteve intensa pela troca de energia potencial turbulenta para cinética turbulenta ($Pe \Rightarrow Ke$) através de movimentos verticais, seguida de uma troca de energia cinética turbulenta para cinética do estado básico ($Ke \Rightarrow Km$), e ainda uma troca de energia cinética do estado básico para potencial do estado básico ($Km \Rightarrow Pm$), devido a movimentos forçados pela circulação de Ferrel. Já para o período de La Niña a corrente de jato em média encontra-se perdendo energia cinética do estado básico para os movimentos meridionais forçados pela célula de Ferrel ($Km \Rightarrow Pm$) e para os distúrbios baroclinicos ($Km \Rightarrow Ke$), precedida de uma troca de energia potencial disponível turbulenta para cinética turbulenta ($Pe \Rightarrow Ke$) através de movimentos verticais, desintensificando desta forma a corrente de jato.

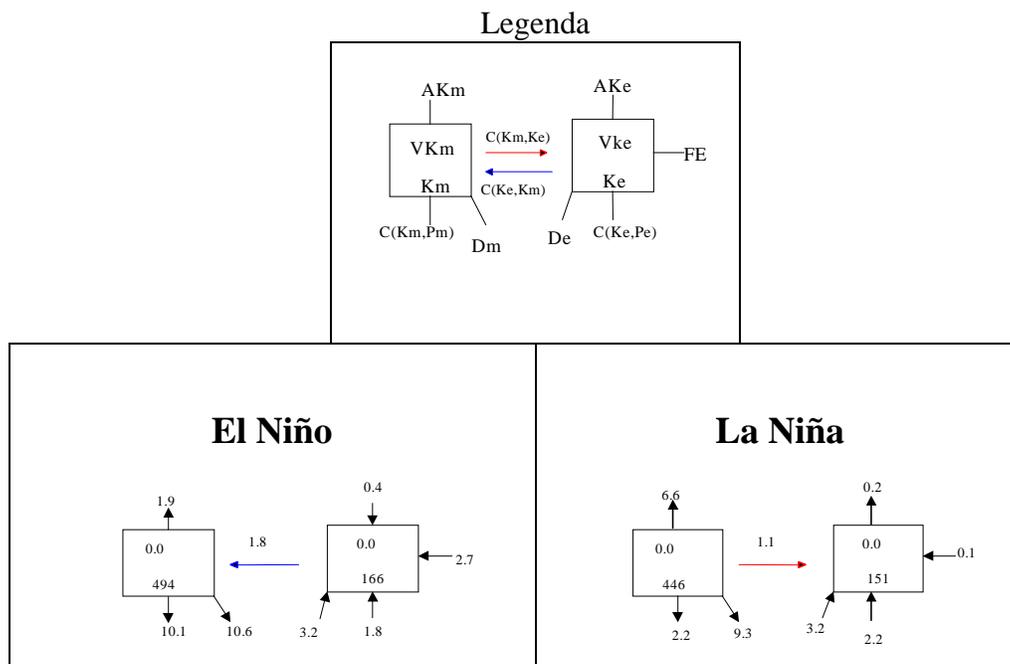


Fig. 4.1 – Componentes do estado básico e turbulento do balanço de energia cinética médio. Lado esquerdo, fenômeno El Niño; Lado direito, fenômeno La Niña. Unidades: caixas: $m^2 s^{-2}$, conversões: $m^2 s^{-3}$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blackmon, M.L., Wallace, J.M, Lau, N.C, Mullen, S.L. An Observational Study of the Northern Hemisphere Wintertime Circulation. **J. Atm. Sci.**, **34**: 1040-1053, 1977.
- Holopainen, E.O. On the Role of mean Meridional Circulations in the Energy Balance of the Atmosphere. **Tellus** **17**: 285-294, 1965.
- Holopainen, E. A Diagnostic Study of the Kinetic Energy of the Long Term Meanflow and the associated Transient Fluctuations in the atmosphere. **Geophysica**, **15**: 125-145, 1978.
- Palmén, E., Newton C.W.: **Atmospheric Circulation Systems**. Academic Press. New york, 1969. 603p.
- Mahlman, J.D. On the Main tenence of the Polar Front Jet Stream. **J. Atms. Sci**, **30**: 544-557, 1973.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela bolsa, sem a qual não seria possível o desenvolvimento deste trabalho.