

Mecanismos de formação da baixa termo-orográfica a leste dos Andes subtropicais

Marcelo E. Seluchi¹, A. Celeste Saulo*, Matilde Nicolini*, Prakki Satyamurty¹ e Chou Sin Chan¹

¹Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)/INPE,
Cachoeira Paulista. São Paulo, Brasil.

*Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA)/ Departamento de
Ciencias de la Atmósfera y los Océanos.
Universidad de Buenos Aires, Argentina.

ABSTRACT

This study describes two Northwestern Argentina Low (NAL) episodes for summer and winter with emphasis on the characterization of their three-dimensional structure and their temporal variability. With the aid of a high resolution regional model (ETA/CPTEC), the main mechanisms involved in the NAL life cycle were studied.

The summer NAL surface pressure changes are clearly dominated by the 600/1000 hPa thickness variability. In winter, this effect is added to the 600 hPa geopotential height fall associated with an upper level trough approach. The modulation of NAL pressure oscillations by thickness variability, strongly suggest its thermal feature. Based on this result, the temperature tendency equation has been used to quantify all the contributions to thermal changes.

The summer event has been dominated by surface warming. This unique mechanism can explain the low pressure system formation by itself. In winter, the surface+radiative heat balance in the 600/1000 hPa layer is weakly negative. In the analyzed case the Zonda effect has been the main responsible for the NAL development.

1. Introdução

Um centro baixa pressão é usualmente observado sobre latitudes subtropicais a leste da Cordilheira dos Andes. Este sistema que é conhecido como Baixa do Chaco apresenta dois centros principais. O primeiro deles localiza-se na região do Chaco e o segundo no noroeste da Argentina. Esta pesquisa focaliza-se neste último sistema, que é localmente conhecido como Depressão do Noroeste Argentino (DNOA).

Lichtenstein (1980), fez o trabalho mais completo até o momento utilizando mapas climatológicos e dados diários do ano de 1967. Este autor identificou ao balanço positivo de calor como um mecanismo importante de formação da baixa no verão. Contudo, este processo isolado não pode justificar integralmente a magnitude da DNOA nesta estação, e atuaria como um fator ciclolítico no inverno. Segundo Lichtenstein, a advecção horizontal de temperatura seria o mecanismo que complementa a intensidade da DNOA e que determina seu comportamento intermitente no verão. No inverno este mecanismo atuaria como o principal processo de formação. Lichtenstein também indicou a possível contribuição da subsidência forçada a sotavento dos Andes, embora não conseguiu quantificar esse mecanismo devido a falta de observações.

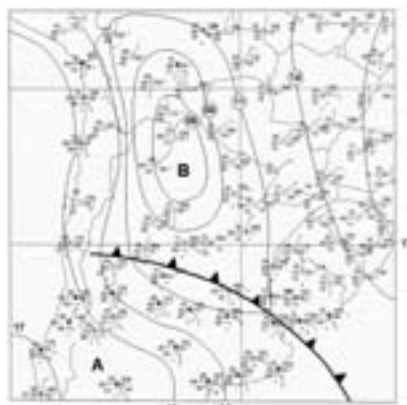
O objetivo deste trabalho é analisar os mecanismos físicos que explicam o ciclo de vida da DNOA, através do estudo de dois casos particulares. As situações escolhidas são consideradas típicas da estação cálida e fria respectivamente. A metodologia está baseada na análise dos termos da equação termodinâmica através de simulações numéricas com o modelo regional Eta/CPTEC.

2. Materiais e métodos

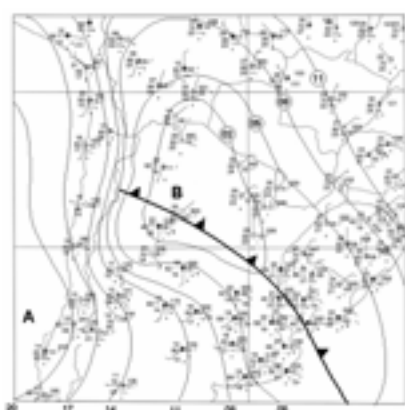
O modelo regional Eta/CPTEC é utilizado no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos em forma operacional desde meados de 1996. O Eta/CPTEC é um modelo hidrostático que utiliza a coordenada vertical eta (indicada para orografia complicada) e possui uma física completa (ver detalhes em Black, 1994). O modelo é rodado com uma resolução horizontal de 40km e 38 camadas verticais. A condição inicial é fornecida pelo NCEP e as de contorno pelo modelo global CPTEC/COLA.

Os dois casos particulares escolhidos (um para verão e outro para inverno) foram selecionados considerando as características típicas (Lichtenstein, 1980), e a intensidade da DNOA. Visando representar

corretamente o ciclo de vida dos sistemas através de simulações numéricas, foi também requerido que o tempo de vida do sistema não ultrapassasse as 72 horas. Sob estas condições foram escolhidas as situações do 23 a 26 de fevereiro de 2000 e a do 5 a 7 do mesmo ano. A figura 1, mostra os campos de pressão ao nível do mar no



momento de maior desenvolvimento da DNOA para ambos os casos escolhidos.



a)

b)

Figura 1: Campo de pressão dos casos escolhidos: (a) 25 de fevereiro de 2000 as 12 UTC, b) 6 de julho de 2000 as 12 UTC

No caso de verão, as mudanças de pressão associadas a formação da baixa estão dominadas pela variabilidade da espessura 600/900 hPa. No inverno, este efeito é adicionado a queda da altura geopotencial no nível de 600 hPa, vincualda ao avanço de um cavado de altos níveis. A modulação das oscilações da pressão por efeito da variabilidade da espessura sugere fortemente o caráter térmico do sistema. Baseado neste resultado, foi utilizada a equação termodinâmica para quantificar as contribuições das mudanças térmicas.

Os termos que atuam na equação termodinâmica tem sido arquivados com o intuito de analisar em detalhe a evolução do campo térmico. Esta metodologia baseia-se no fato que a DNOA é um sistema de tipo térmico.

A forma geral da equação termodinâmica utilizada no modelo Eta/CPTEC é:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -V \cdot \nabla_{\eta} T - \dot{\eta} \frac{\partial T}{\partial \eta} + \frac{\chi T \omega}{p} + Q$$

onde T é a temperatura, V o vetor vento horizontal, ω a velocidade vertical em coordenada p, χ é $R (c_p)^{-1}$; $\dot{\eta}$ a velocidade vertical em coordenada η e Q representa as fontes/sumidouros diabáticas de calor. A análise estará centrada nos termos particulares desta equação previa:

Tendência de temperatura = advecção horizontal + mudanças adiabáticas + processos úmidos + radiação + processos de superfície.

3. Resultados

Visando descrever o ciclo de vida da DNOA nos casos escolhidos, a contribuição de cada termo da equação termodinâmica foi integrado verticalmente desde a superfície até o nível de 600 hPa.

A figura 2 descreve as contribuições destes termos durante o período de intensificação para o caso de verão (entre as 09 UTC do 25 de fevereiro e as 12 UTC do 26 de fevereiro). Focalizando a análise sobre a caixa que coincide com a posição da DNOA, existem dois processos que conduzem ao aprofundamento do sistema: estes são à liberação de calor latente por convecção (painel c) e o aquecimento superficial (painel e). Este último efeito sugere que o aquecimento superficial concentra-se em áreas relativamente secas, já que a precipitação anual acumulada diminui significativamente ao oeste de 65°W. Neste caso, também pode ser observado que a maior parte do calor gerado pela convecção é compensado pelo esfriamento produzido pelo levantamento do ar.

De acordo ao esperado, o balanço de radiação sobre a atmosfera (painel d) é negativo sobre todo o domínio. A advecção horizontal (painel a), apresenta uma contribuição positiva a leste de 63°W, que explica a maior parte do aquecimento sobre esta região (ver painel f). Este efeito está associado a ventos intensos do norte a leste da DONA que caracterizaram um episódio de jato de baixos níveis. Contudo, a advecção horizontal sobre a DNOA é predominantemente fria. Este fato está em discordância com os resultados achados por Lichtenstein-, que sugeriu que a advecção quente é o mecanismo chave que leva ao desenvolvimento do sistema.

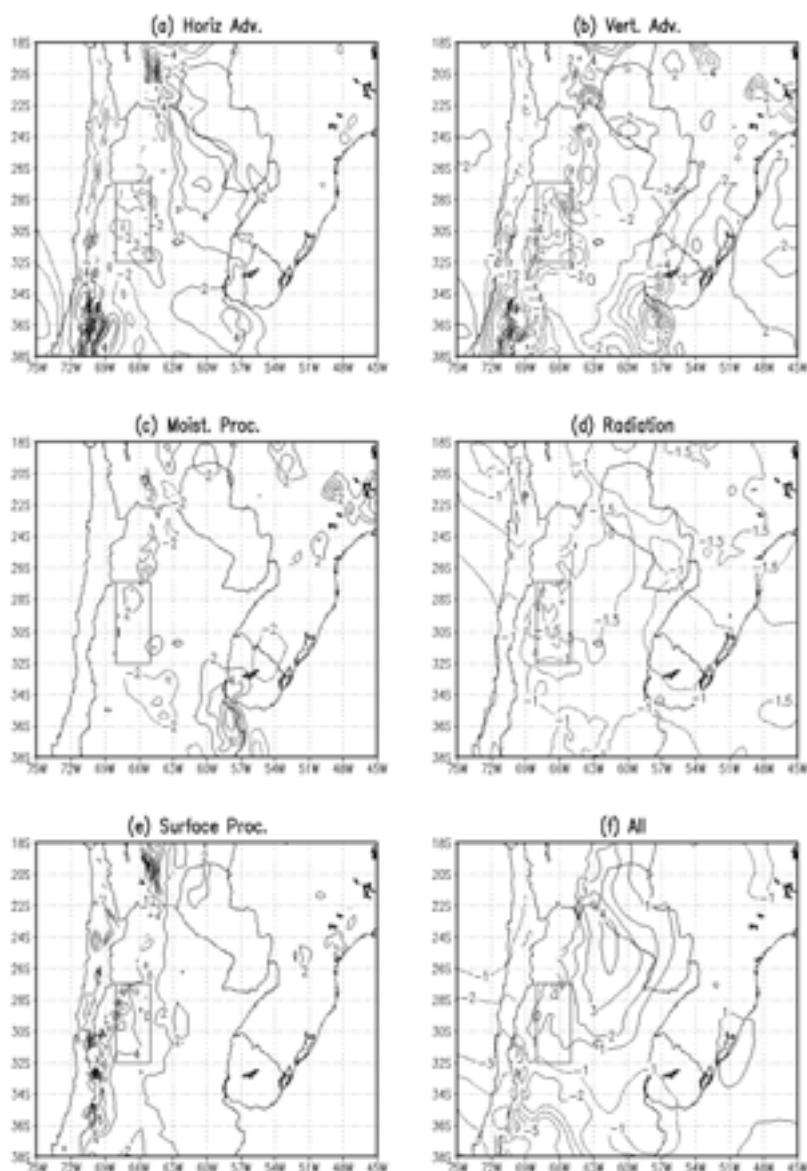


Figura 2: mudanças de temperatura geradas pelos distintos termos da equação termodinâmica: a) advecção horizontal de temperatura, b) termos adiabáticos, c) processos úmidos, d) radiação, e) processos de superfície, f) soma de todos os termos para o caso do 26 de fevereiro.

O padrão dominante na tendência total da temperatura (painel f), é dominado por duas áreas quentes, uma localizada sobre a DNOA devido ao aquecimento superficial e outra sobre o noroeste de Argentina, associada a

advecção horizontal quente. Este padrão é muito semelhante ao campo tendência de espessura 600/900 hPa (figura não mostrada), confirmando o caráter térmico do sistema.

No período de enfraquecimento (figura não mostrada), a característica mais relevante é a contribuição negativa de quase todos os termos da equação termodinâmica. A única exceção é o aquecimento gerado pelos processos úmidos sobre a DNOA, embora balanceado pelo termo vertical. A advecção horizontal positiva ainda é importante sobre o nordeste da Argentina, mas não sobre a posição que ocupa a baixa. Ao Sul deste sistema uma região com advecção fria bem organizada denota o avanço de uma frente fria. Neste período a tendência gerada pelo balanço térmico na superfície é menos significativa, sendo dominada pelo esfriamento noturno. Em geral, a maior parte do domínio é afetada pelo esfriamento, sendo que este efeito é muito mais marcante sobre a região que ocupa a DNOA.

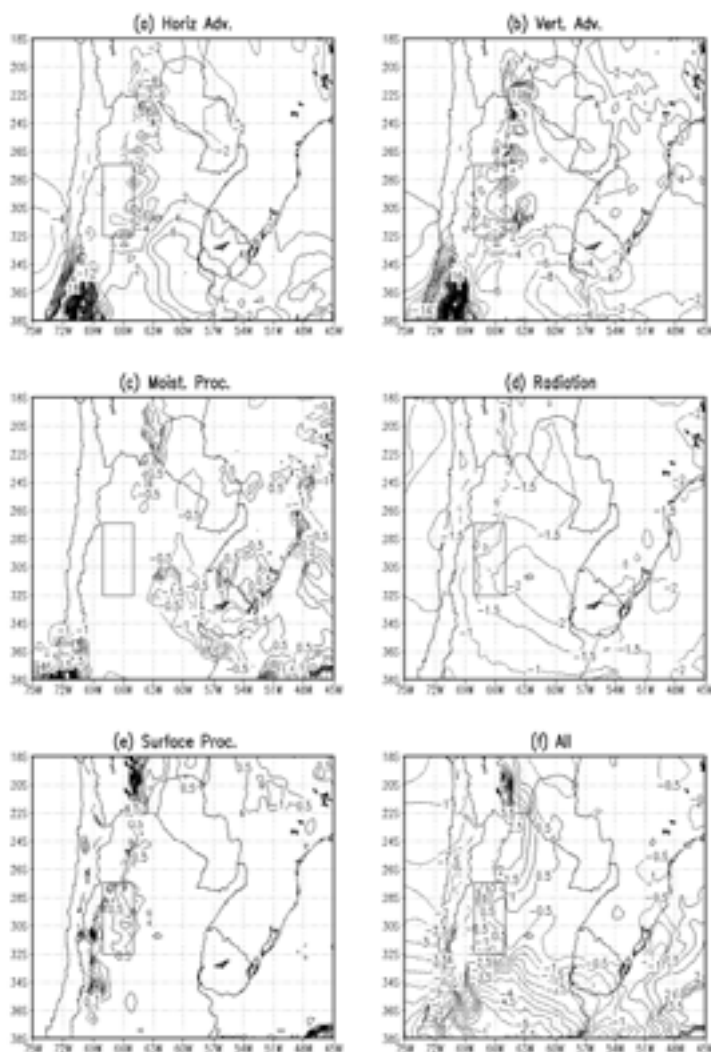


Figura 3: Idem figura 2 para o caso do 5 de julho.

A figura 3 corresponde ao caso de inverno ocorrido entre o 5 e o 7 de julho de 2000. Em contraste com o caso de verão o aquecimento produzido pela subsidência forçada pela orografia (painel b), aparece como o mecanismo principal que explica o desenvolvimento da DNOA. A influência dos processos úmidos neste caso é praticamente desprezível. Os processos didáticos considerados como a soma dos efeitos radiativos e do transporte de calor sensível através da superfície também aparecem como pouco significativos. O painel f mostra um padrão similar ao caso de verão, porém com uma magnitude menor. O período de decaimento (figuras não mostradas) pode ser explicado pela mudança de signo do termo vertical dentro da área de interesse. Neste período, a perda por radiação aumenta, já que o intervalo corresponde principalmente a horas noturnas.

Com o intuito de analisar com mais detalhe as causas físicas que determinam a posição geográfica da DNOA foi estudado o comportamento da espessura 600/hPa, da altura geopotencial nos níveis de 900, 600 e 300

hPa e cada um dos mecanismos físicos envolvidos sobre quatro caixas localizadas ao norte, leste e sul da posição da DNOA. As figuras não se incluem por questões de espaço. Nos casos escolhidos o sistema de baixa pressão forma-se também na caixa localizada ao norte, quase com a mesma intensidade. A intensidade ligeiramente menor obedece a uma menor contribuição da advecção vertical (subsidência forçada) e a queda menor da altura geopotencial na média troposfera. Este fato pode indicar uma componente dinâmica mais fraca, devido possivelmente a menor latitude da caixa.

Na caixa situada a leste da DNOA, a advecção horizontal é substancialmente positiva. Contudo, a advecção vertical negativa e o aquecimento superficial significativamente menor compensam este mecanismo. Este último fato está associado ao significativo gradiente zonal do calor sensível e latente entorno dos 65°W.

O sistema de baixa pressão aparece mais fraco e distorcido na caixa sul. Em geral a componente térmica do sistema não é evidente e o aquecimento superficial é sensivelmente menor comparado com o observado sobre a DNOA. Além disso, os processos úmidos são desprezíveis sobre esta caixa.

4. Conclusões

Este trabalho focaliza-se no estudo dos mecanismos de formação da DNOA, através da análise de dois episódios específicos ocorridos no verão e no inverno de 2000. Segundo Lichtenstein (1980), este tipo de sistema tem uma origem termo-orográfica, sendo mais frequentes no verão e mais intermitentes no inverno. Os mecanismos físicos envolvidos no ciclo de vida da DNOA foram pesquisados através de simulações realizadas com o modelo regional Eta/CPTEC. Devido as particulares características topográficas da região e as poucas estações meteorológicas em operação supõe-se que a utilização de simulações numéricas é mais adequada que a utilização de campos analisados.

O evento do 26 de fevereiro esteve dominado pelo aquecimento superficial. Este mecanismo isolado pode explicar a existência de um sistema de baixa pressão. Este fato sugere que no verão a DNOA pode estar sempre presente sobre esta região, que climatologicamente apresenta um balanço positivo de radiação. Este resultado já tinha sido apontado por Lichtenstein (1980), mesmo sabendo que este mecanismo não consegue explicar a intensidade total da baixa. O outro processo sugerido por Lichtenstein (1980) para aprofundar a DNOA, foi a advecção horizontal de temperatura. Nos casos analisados este efeito não foi detectado. Pelo contrário, foram identificadas as contribuições positivas da subsidência forçada e da liberação de calor latente. O comportamento intermitente da DNOA no verão está associado a supressão do aquecimento radiativo na camada 600/900 hPa devido a irrupção de ar frio (passagens frontais).

No inverno o balanço de calor radiativo e da superfície são ligeiramente negativos dentro da camada 600/900 hPa, dificultando a formação da DNOA. No caso analisado o efeito fohen (zonda) tem sido apontado como o mecanismo principal de desenvolvimento do sistema.

Devido a que este efeito é frequente durante a estação fria, este processo poderia se considerar como um fator primário de formação da DNOA. Como consequência a DNOA nesta estação estaria mais ligada à atividade baroclínica, que modularia tanto a etapa de desenvolvimento quanto a de decaimento.

Em referência a hipótese de Lichtenstein, a advecção horizontal de temperatura foi detectada nos casos estudados, a leste da posição da DNOA. Este fato parece indicar que esta advecção seria mais uma consequência do aumento do gradiente zonal de pressão que acelera geostroficamente o ar para o sul e não um efeito causativo.

Agradecimentos: O primeiro autor desenvolveu esta pesquisa utilizando uma bolsa de Pesquisador Visitante concedida pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento científico e Tecnológico (CNPq). Este trabalho foi parcialmente financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e pelo programa PROSUR, IAI-CRN 055.

5. Referencias

Black T.L., 1994: NMC Notes: The New NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples Weather and Forecast, Vol. 9, N°2, 256-278.

Lichtenstein E.R., 1980: La Depresion del Noroeste Argentino. Tese de doutorado. 223 pp. *Departamento de Ciencias de la Atmósfera, Ciudad Universitaria (1428) Buenos Aires, Argentina.*