

**UM ESTUDO DE CASO DE CICLONES EXTRATROPICAIS SOBRE A  
AMÉRICA DO SUL: SENSITIVIDADE DAS ANÁLISES**

**David Mendes\*, Rildo Gonçalves de Moura\*, Monica C. Damião Mendes\***

\*Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

Rod. Presidente Dutra, Km 40, Cachoeira Paulista –SP

CEP:12630-000

EMAIL: dmendes@cptec.inpe.br

Submetido e em Revisão

Revista Brasileira de Meteorologia

Janeiro de 2008

## RESUMO

A trajetória e a energética de um ciclone extratropical da América do Sul foram analisadas utilizando as reanálises do NCEP/NCAR em diferentes horários para o modelo CPTEC/COLA. O período de estudo é compreendido entre os dias 23 e 26 de agosto de 2005. O impacto do uso de diferentes condições iniciais foi inferior à variabilidade dessas condições, embora observaram-se diferenças significativas na evolução do ciclone extratropical. Durante o período de atividade do ciclone extratropical, as diferentes análises demonstraram alguma similaridade, tais como na trajetória e na energia do sistema. Em relação à localização geográfica exata do ciclone extratropical não foi tão importante para a compreensão dos processos envolvidos.

*Palavra-chave: ciclone extratropical, modelo do CPTEC/COLA, reanálises, análise.*

## ABSTRACT

The track and energetics of a South America extratropical cyclones wave have been analyzed using NCEP/NCAR reanalysis, and different analysis for the CPTEC/COLA model. The study period is comprehended the days from August 23 to 26. The impact of using different datasets initial conditions was less than the variability of the conditions themselves. The simulation is considered satisfactory in a research mode when the numerical resolution captures the dynamic and thermodynamic of the atmosphere condition, whereas the precise geographical location of the extratropical cyclones is not as important for the understanding of the processes involved.

*Keywords: extratropical cyclone, CPTEC/COLA model, reanalysis, analysis.*

## 1. INTRODUÇÃO

Os ciclones extratropicais são sistemas meteorológicos caracterizados por grandes regiões de circulação ciclônica em torno de um centro de baixa pressão, onde a fase de formação é designada por ciclogênese e o comportamento desses sistemas são objetos de estudos desde o início do século XX. O primeiro modelo conceitual apareceu em 1922 (Bjerknes & Solberg, 1922) através da análise de observações de superfície das primeiras redes de estações meteorológicas, cujas interpretações das depressões extratropicais foram dadas como perturbações ondulatórias que se propagavam ao longo de um sistema frontal. Sutcliffe (1947) admitiu que na atmosfera a divergência deveria ser nula, propondo a análise diferencial da divergência do vento horizontal em dois níveis, sendo um próximo à superfície e outro na alta troposfera. Segundo este autor com esse método poderia identificar as situações associadas às depressões. Petterssen (1956) dando continuidade às pesquisas de Sutcliffe (1947) e reforçando o papel da advecção de vorticidade ciclônica em um nível médio, ressaltou a importância da região baroclínica à superfície no desenvolvimento de novos sistemas ciclogênicos.

As primeiras climatologias sobre ciclones extratropicais são baseadas em compilações obtidas a partir de inspeções visuais de cartas sinóticas ao nível do mar (e.g. Petterssen, 1956, entre outros). Muito recentemente, outros autores criaram métodos objetivos (automação) para detecção de ciclones extratropicais entre os quais, podemos destacar Murray & Simmonds (1991a), Sinclair (1994), Blender et al. (1997). Vale ressaltar, que na maioria dos métodos de detecção automática, os algoritmos desenvolvidos tendem a procurar e encontrar o mínimo (e o máximo) da pressão ao nível médio do mar. Mais recentemente, alguns autores utilizam a altura geopotencial (vorticidade) à superfície como forma de detecção de ciclones (Trigo et al., 1997).

É importante ainda salientar, que para os dois métodos assinalados acima, fizeram-se uso de dados geralmente extraídos das reanálises com diferentes resoluções espaciais e temporais, onde destacam-se as reanálises do National Center for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) e as do European Centre for Medium Range Weather Forecast (ECMWF).

A região sul da América do Sul é conhecida como uma região ativa na formação de ciclones extratropicais (Taljaard, 1967; Necco, 1982; Satyamurty et al., 1990; Gan & Rao, 1991; Sinclair, 1994; Simmonds & Key, 2000; e mais recente Mendes et al., 2007).

Necco (1982) realizou o primeiro estudo sobre as distribuições de ciclones extratropicais no Hemisfério Sul (HS), apesar de ter utilizado apenas um ano de dados meteorológico. Não obstante, identificaram a região centro-sul da América do Sul (AS) como sendo uma das regiões com maior frequência de ciclones extratropicais. Posteriormente, Satyamurty et al. (1990) analisaram 7 anos de dados de satélite sobre a AS e identificaram a região a nordeste da Argentina, Uruguai e sul do Brasil como a área de maior atividade de ciclones extratropicais. Gan & Rao (1991) analisaram um período de dados (cartas em superfície) mais longo (10 anos), e verificaram que o inverno (JJA) é a estação do ano com maior número de ciclones extratropicais sobre a AS, contrastando com o resultado encontrado por Satyamurty et al. (1990). Sinclair (1994) construiu uma base de dados de ciclones extratropicais para o HS utilizando 15 anos de reanálises do ECMWF (1980 a 1994), tendo identificado dois centros de máxima atividade ciclônica sobre a AS: o primeiro sobre o Uruguai e o segundo sobre a costa sudeste da Argentina. De acordo com Sinclair (1994), os ciclones extratropicais formados sobre o Uruguai ocorrem preferencialmente durante o inverno, enquanto que no verão (DJF) a região de máxima ocorrência se localizou ao sul da região encontrada

para os meses de inverno. Por fim, utilizando uma série maior de dados, Simmonds & Keay (2000) obtiveram uma climatologia mais longa de ciclones extratropicais no HS a partir das reanálises do NCEP/NCAR. Os resultados encontrados por Simmonds & Keay (2000) confirmaram os obtidos por Gan & Rao (1991) e Sinclair (1994).

Dando continuidade aos trabalhos anteriormente citados e tendo a finalidade de verificar a sensibilidade do modelo do CPTEC/COLA, este trabalho pretende comparar as saídas do modelo do CPTEC/COLA com duas diferentes análises em relação à reanálise do NCEP/NCAR, realizando um estudo de caso de ciclones extratropicais para o inverno de 2005.

## **2. DADOS E METODOLOGIA**

### **Dados**

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados dados de Pressão ao Nível Médio do Mar, aqui definida como PNMM com uma resolução espacial de  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  e resolução temporal de 6 horas extraídas das reanálises do NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996). A região analisada está compreendida entre  $60^{\circ}\text{S}/15^{\circ}\text{S}$  e  $120^{\circ}\text{W}/0^{\circ}$ , e o período de análise dos eventos de ciclones extratropicais compreendido entre as 0600 UTC do dia 23 de agosto de 2005 as 1800 UTC do dia 26 de agosto do mesmo ano.

Vale destaca-se que esse evento de ciclones extratropical foi caracterizado como sendo um evento normal, tanto em intensidade como em trajetória, condições essas verificadas através de uma análise prévia do evento.

### **2.2 Metodologia**

A metodologia utilizada para a detecção de ciclones extratropicais é semelhante à descrita por Blender et al. (1997) e Mendes et al. (2007). Este algoritmo começa por identificar potenciais centros de baixa pressão, através de identificação de isóbaras

fechadas em uma área de 3x3 ponto de grades, tanto para as reanálises do NCEP/NCAR como também para o modelo do CPTEC/COLA, que apresenta uma resolução espacial de 100x100 km (mais detalhe sobre esse modelo abaixo).

Para ser considerado um ciclone extratropical é necessário que o mínimo de pressão a superfície satisfaça os seguintes requisitos:

- (1) Ter um valor máximo de 1010 hPa para a pressão central do sistema de baixa pressão;
- (2) Ter um gradiente médio da pressão de 0.55 hPa/250 km estimado numa área de 5° de latitude por 7° de longitude.

De modo a identificar as trajetórias seguidas pelos sistemas depressionários, para cada mínimo de pressão detectado (de acordo com o critério acima descrito), procura-se o centro mais próximo nos tempos seguinte, admitindo que a velocidade máxima de cada ciclone extratropical não excede 33 km/h para oeste e 90 km/h para qualquer outra direção.

O modelo CPTEC/COLA é originado do modelo de previsão de médio prazo do National Centers for Environmental Prediction (NCEP, então NMC), onde esse modelo chamado pelo NCEP de MRF, ou seja “Medium Range Forecasting Model”, era uma combinação espectral global desenvolvido pelo NCEP e as parametrizações físicas de escala subgrade desenvolvidas no Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL). Posteriormente, foi feita a transferência deste modelo para o Center for Ocean, Land and Atmosphere Studies (COLA), onde foram adicionados cálculos diagnósticos para um melhor entendimento dos processos físicos.

Neste trabalho utilizamos o modelo na resolução T126L28, com truncamento espectral triangular nas ondas zonais 126 e 28 camadas na vertical, sua resolução espacial de aproximadamente 100x100 km, e variação temporal de 6 horas.

Com a finalidade de verificar uma melhor destreza do modelo em comparação com a reanálises do NCEP/NCAR, utilizaremos o modelo com duas análises diferentes:

- (1) Análises espectrais do NCEP/NCAR a cada 6 horas, onde o modelo foi rodado com condições iniciais em 23 de Agosto de 2005 as 0000 UTC, por 4 dias;
- (2) Análises do GPSAS (Global Physical-space Statistical Analysis System), que assimila informações oriundas de diferentes sistemas de observações, mais detalhe em INPE ePrint: [sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/07.02.13.52](http://sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/07.02.13.52) v1 2007-07-03.

No texto chamaremos as análises de NMC (análise do NCEP) e GPSAS (análises do Global Physical-space Statistical Analysis System). Para as reanálises do NCEP/NCAR chamaremos de NCEP/NCAR.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1 Análise Padrão do Modelo**

A Figura 1 mostra a PNMM às 1800 UTC no dia 23 de Agosto (ciclogêneses) para as três condições de análises, NCEP/NCAR (a), GPSAS (b) e NMC (c), assim como para a fase de máxima intensidade do ciclone extratropical que ocorre no dia 25 de Agosto as 1200 UTC (d-e). O NCEP/NCAR para a ciclogêneses (Fig. 1a) mostra que às 1800 UTC do dia 23 de Agosto com três centros de baixa pressão localizados no litoral da Argentina e Uruguai, diferenciando das condições verificadas nas duas análises, onde é apenas detectado um único núcleo, localizado sobre o Uruguai (Fig. b-c). O rápido desenvolvimento do ciclone extratropical entre a sua formação e a fase de máxima atividade, apresenta condições semelhantes entre as análises.

Em relação à trajetória nas análises e na reanálise (Fig. 2), verifica-se que há similaridades, principalmente entre o modelo com análise do GPSAS e a reanálise do

NCEP/NCAR. Em relação ao modelo com análises do NMC, a trajetória é mais longa e um pouco deslocada para norte em relação à reanálise e ao GPSAS.

No campo de mínimo de pressão (Fig.3a), no centro do ciclone, é verificada uma diminuição suave da pressão nas primeiras 24 horas após a formação, tanto para as análises como para o NCEP/NCAR. O GPAS (linha verde) após 24 horas apresenta um decréscimo muito acentuado até atingir o mínimo de pressão após 42 horas, depois da formação. O NMC (linha vermelha) mostra-se bastante diferente em relação ao GPSAS, com um cavamento tardio (apenas 60 horas após a formação) e uma intensidade de pressão mínima bastante inferior. O NCEP/NCAR (linha preta) apresenta um mínimo de pressão tardio em relação às análises (66 horas após a formação), apresentando uma taxa de crescimento após o mínimo muito inferior as análises.

As diferenças entre as pressões mínimas no centro do ciclone (Fig. 3b) entre as análises e o NCEP/NCAR, mostra dissimilaridades acentuadas, principalmente entre o NCEP/NCAR e o NMC (linha dark cyan). Ressalta-se que as maiores diferenças são verificadas no mínimo de pressão do GPSAS, em contrapartida do NMC que subestima a pressão em relação ao GPSAS (linha azul).

### 3.2 Análise da Energia Sinótica

O estudo da energia cinética por unidade de massa (K), ao longo de uma latitude, e em dado nível de pressão, é obtido segundo Haltiner & Williams (1980):

$$k = (1/2\pi) \int_0^{2\pi} [1/2(u^2 + v^2)] d\lambda \quad (1)$$

Onde o primeiro termo representa a energia cinética do escoamento zonal e o segundo termo é a energia cinética do escoamento meridional.

A Figura 4, mostra o campo da energia cinética (cores), da altura geopotencial em 1000 hPa (linha vermelha) e do vetor vento em 1000 hPa (setas) para 0000 e 1200 UTC, do dia 24 de Agosto. Nota-se para este período que o ciclone extratropical entra em intensa formação. Já para o NCEP/NCAR (Fig. 4a) às 0000 UTC do dia 24 de Agosto, observa-se um sistema de baixa pressão bem configurado sobre o litoral do Uruguai, sendo observado no flanco equatorial do ciclone extratropical um máximo de K. Para campo do GPSAS (Fig. 4b), a circulação de baixa pressão vista no NCEP/NCAR no mesmo horário, não mostra uma baixa pressão bem configurada, mostrando apenas uma intensa área de K sobre o Rio Grande do Sul. Já para o NMC (Fig. 4c) verifica-se uma baixa pressão sobre o litoral do Uruguai bem formada e uma área com K mais intensa sobre o flanco norte da baixa pressão.

Para o horário das 1200 UTC (Fig. 4d-f), para o mesmo dia, nota-se que há uma uniformidade entre os campos das análises do modelo e o NCEP/NCAR, isto é, o sistema de baixa pressão está bem configurado e com valores de máximo de K no mesmo setor do sistema de baixa (flanco equatorial da baixa).

Para o dia 25 de agosto às 0600 e 1800 UTC, as similaridades entre as análises e o NCEP/NCAR são visíveis, diferenciando apenas na localização núcleo do ciclone extratropical. No NMC (Fig. 5c-f) o centro do sistema de baixa pressão localiza-se mais a leste do que o GPSAS (Fig. b-e) e NCEP/NCAR (Fig. a-d). Vale salientar que, o processo de transferência de energia corrente abaixo, ou seja, “downstream” ocorre principalmente nos altos níveis da atmosfera, onde o vento ageostrófico é praticamente zonal e K apresenta sua maior magnitude. Já em baixos níveis da atmosfera, o vento ageostrófico é mais meridional e a transferência de energia seria de sul para norte (e.g. Orlanski & Katzfey, 1991).

A Figura 6 mostra a evolução temporal de K (a) e a diferença entre as análises e o NCEP (b) no centro do ciclone extratropical. A evolução de K (Fig. 6a) apresenta similaridades entre as 3 séries de dados. Nota-se no NCEP/NCAR (linha preta) que há uma tendência de intensificação da energia cinética, principalmente entre 12 e 24 horas após a formação do ciclone, cuja intensificação se aproxima de  $350 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ . Observa-se ainda na Figura 6 que o máximo de K diferencia tanto nas análises como no NCEP/NCAR, após as 48 horas da formação apresentando picos bastante significativos. A diferença é relativamente pequena entre as (linha azul) análises e acentuada entre as análises e o (dark cyan e olive) NCEP/NCAR (Fig. 6b).

### 3.2 Evolução dos Sistemas

Como mencionando na metodologia, para a detecção e acompanhamento dos ciclones extratropicais foi criando um método de detecção automático (Mendes et al., 2007), esse método além de acompanhar o deslocamento do evento também pode extrair informações deste evento, tais como, tempo de vida (horas), velocidade de deslocamento a cada 6 horas (m/s), máximo decaimento também em 6 horas (dp/dt), pressão mínima (hPa), entre outras informações. Nesta seção daremos enfoque ao tempo de vida (horas), velocidade média de deslocamento e distancia total percorrida pelo evento.

#### *a. Tempo de vida*

O tempo de atividade registrado no NCEP/NCAR mostra uma variação significativa em comparação ao tempo de vida de GPSAS e NMC, para 70, 60, 66 horas respectivamente. Se comparado com os casos estudados por Mendes et al. (em revisão) para o Hemisfério Sul (HS) e América do Sul (AS), os resultados aqui apresentados

estão dentro da média para casos de inverno, isto é, de 74 horas para o HS e 73 horas para a AS.

*b. Velocidade de deslocamento.*

A tabela 1 mostra as velocidades médias percorrida pelo ciclone extratropical durante o período de 72 horas após a formação, isto é, uma análise para cada 12 horas. Nota-se que não há uma grande variação na velocidade entre as análises e o NCEP/NCAR, sendo verificado apenas que o NMC tende a estimar a velocidade média de deslocamento em comparação ao NCEP/NCAR e GPSAS. A velocidade média máxima é verificada entre 24 e 36 horas após a formação (período de intensificação do ciclone extratropical). Recentemente, Mendes et al., (em revisão) mostraram através de uma climatologia para 55 anos de dados, que os ciclones extratropicais originados no inverno para a AS apresentaram uma velocidade média de  $21.07 \text{ km h}^{-1}$ , média muito parecida com a observada no estudo caso detalhado neste paper.

*c. Distancia total percorrida pelo ciclone extratropical.*

A distância total percorrida pelo ciclone extratropical apresenta pouca variação entre as séries de dados analisadas, com o NCEP/NCAR apresentando uma distância média de aproximadamente 3551 km, o GPSAS 3580 km e NMC aproximadamente 6458 km, médias estas bastante superiores às encontradas por Mendes et al. (em revisão). É importante salientar que estes autores encontraram uma distância média de 1553 km para ciclones extratropicais ocorridos no inverno para a AS. Mendes et al. (em revisão) verificaram também que raramente eventos formados sobre a AS percorreram mais de 2500 km, confirmando assim o que foi encontrado para o estudo de caso deste paper.

#### 4. CONCLUSÕES

Em geral, a evolução do ciclone extratropical através das análises NMC e GPSAS inseridas no modelo CPTEC/COLA mostraram pouca variação entre elas, quando comparadas com as reanálises notam-se diferenças marcantes. Quanto ao impacto, o uso de dados diferentes nas condições iniciais (análises), foi inferior a variabilidade das condições próprias. Embora, observaram-se algumas diferenças significativas na evolução do ciclone extratropical para o NCEP/NCAR.

((O GPSAS e NMC apresentaram similaridades em alguns casos; 1) pressão mínima (Fig. 3A), e 2) energia cinética evolução temporal (Fig. 6a), diferenciando um pouco em relação ao NCEP/NCAR.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BJERKNES, J. SOLBERG, H. **Life Cycle of Cyclones and the Polar Front Theory of Atmospheric Circulation.** Geophysical. Publikasjoner, v.3, n.1, 325pp., 1922.
- BLENDER, R., FRAEDRICH, K., LUNKEIT, F. **Identification of cyclone-track regimes in the North Atlantic.** Quart. J. Roy. Met. Soc., v. 123, p. 727-741, 1997.
- GAN, M. A., RAO, V. B. **Surface cyclogenesis over South America.** Mon. Wea. Rev., v. 119, p. 1293-1302, 1991.
- HALTINER, G. J., WILLIAMS R. T. **Numerical Prediction and Dynamic Meteorology.** 2d ed. John Wiley and Sons, pp. 477, 1980.
- KALNAY, E. AND COAUTHORS. **NCEP/NCAR 40-year reanalysis project,** Bull. Am. Meteorol. Soc., v. 77, p. 437-471, 1996.
- MENDES, D., SOUZA, E. P., TRIGO, I. F., MIRANDA, P. M. A. **On Precursors of South-American Cyclogenesis.** Tellus A, v. 59, p. 114-121, 2007.

- MENDES, D., SOUZA, E. P., MARENGO, J. A., MENDES-DAMIÃO, M. C.  
**Climatology of Extratropical Cyclones over the South American-Southern Oceans Sector.** Theoretical and Applied Climatology, (Em revisão).
- MURRAY, R.J., SIMMONDS, I., **A numerical scheme for tracking cyclone centres from digital data. Part I: development and operation of the scheme.** Aust. Met. Mag., v. 39, p. 155-166, 1991.
- NECCO, G. **Comportamiento de vortices ciclonicos en el area Sudamericana durante el FGGE : Ciclogensis.** . Meteorologica, v.13, p. 7-19, 1982.
- ORLANSKI, I., KATZFEY, J. **The life cycle of a cyclone wave in the Southern Hemisphere. Part I: Eddy energy budget.** J. Atmos. Sci., v. 48, p. 1972–1998, 1991.
- PETTERSSSEN, S., SMEBYE S. J., **On the development of extratropical cyclones.** Quart. J. Roy. Meteor. Soc., v.97, p. 457–482, 1971.
- SATYAMURTY, P., FERREIRA, C. C., GAN, M. A. **Cyclonic vortices over South America.** Tellus, v. 42A, p. 194-201, 1990.
- SIMMONDS, I., KEAY, K. **Mean southern hemisphere extratropical cyclone behavior in the 40-year NCEP-NCAR reanalysis,** J. Climate, v. 13, p. 873-885, 2000.
- SINCLAIR, M.R. **An objective cyclone climatology for the Southern Hemisphere.** Mon. Wea. Rev. v. 122, p. 2239-2256, 1994.
- SUTCLIFFE, R. C., **A Contribution to the problem of development.** Quart. J. Roy. Meteor. Soc., v. 73, p. 370–383. 1947.
- TALJAARD, J. J., **Development, distribution and movement of cyclones and anticyclones in the Southern Hemisphere during the IGY.** J. appl. Met., v.6, p.973-987, 1967.

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 – Evolução especial da pressão ao nível do mar para o NCEP/NCAR 9(a, d), GPSAS (b, e), e NMC (c, f), para as 1800 UTC do dia 23 de Agosto de 2005 e as 1200 UTC do dia 25 de Agosto.

Fig. 2 – Trajetória do ciclone extratropical durante o período de estudo. NCEP/NCAR (círculo vermelho), GPSAS (azul), e NMC (verde).

Fig. 3 – Evolução temporal da pressão mínima (a), e diferença entre as pressões mínimas (b). NCEP/NCAR (linha preta ) (a), GPSAS (linha verde) (a), NMC (linha vermelha) (a). Diferença entre NCEP/NCAR e NMC (linha dark cyan) (b), NCEP/NCAR e GPSAS (linha oliver) (b), NMC e GPSAS (linha azul) (b).

Fig. 4 – Evolução especial da energia cinética, altura geopotencial em 1000 hPa e vetor vento em 1000 hPa, para o período de 0000 UTC e 1200 UTC do dia 24 de Agosto. Em shaded a energia cinética ( $\text{m}^2 \text{s}^{-2}$ ), linhas vermelhas a altura geopotencial (hPa) e setas para o vetor vento ( $\text{ms}^{-1}$ ).

Fig. 5 – Assim como para a figura 4, mais para o período de 0600 UTC e 1800 UTC do dia 25 de Agosto de 2005.

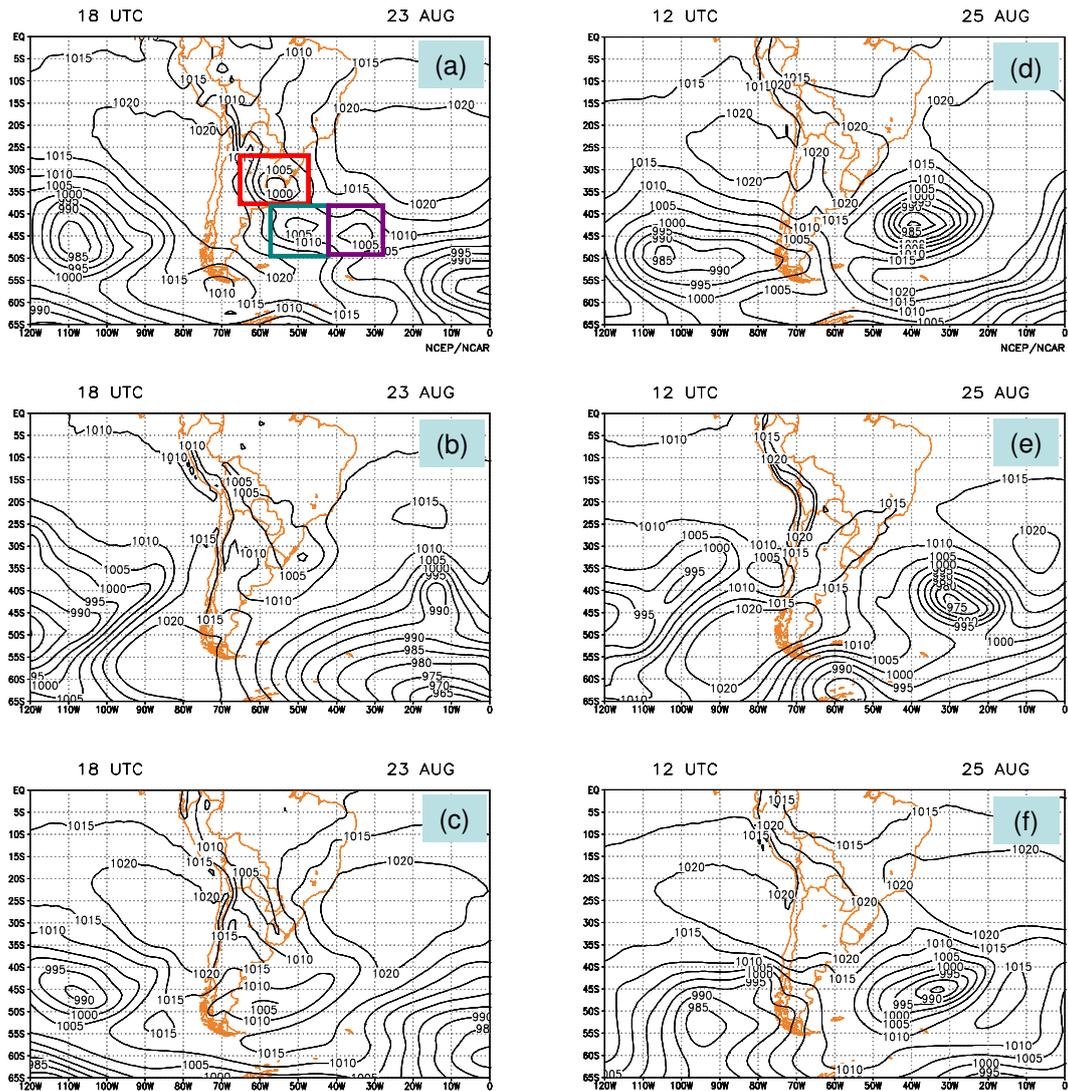
Fig. 6 – Assim como para a figura 3, mais neste caso a análise é feita para a Energia cinética.

## Lista de Tabela

Tab. 1 – Velocidade (km/h) média do ciclone extratropical durante o período de estudo (12h à 72 horas).

FIGURAS

Figura 1



# Tracks

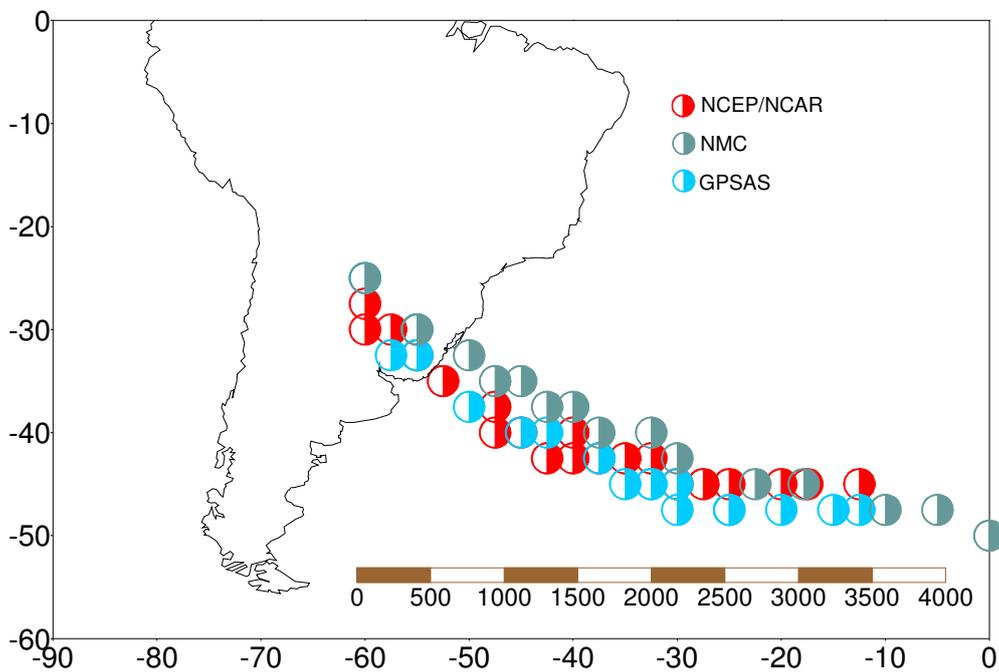


FIGURA 2

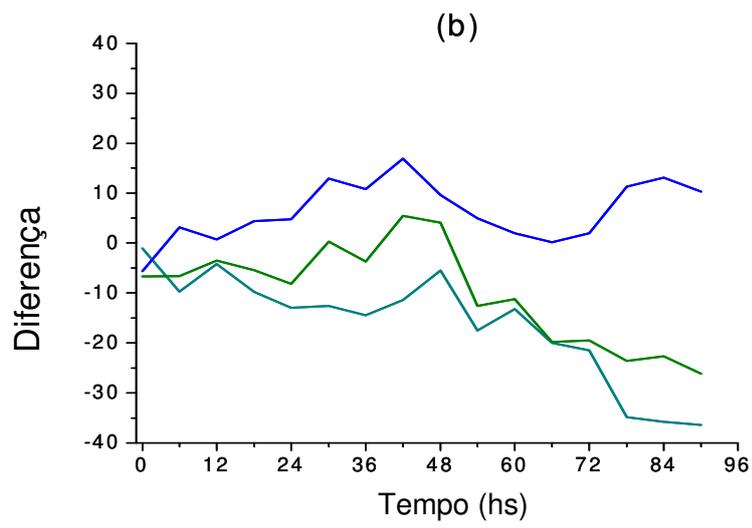
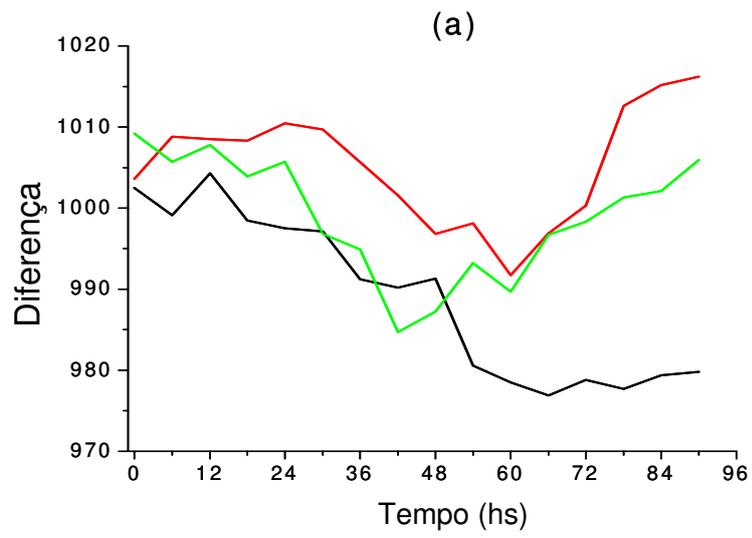


Figura 3

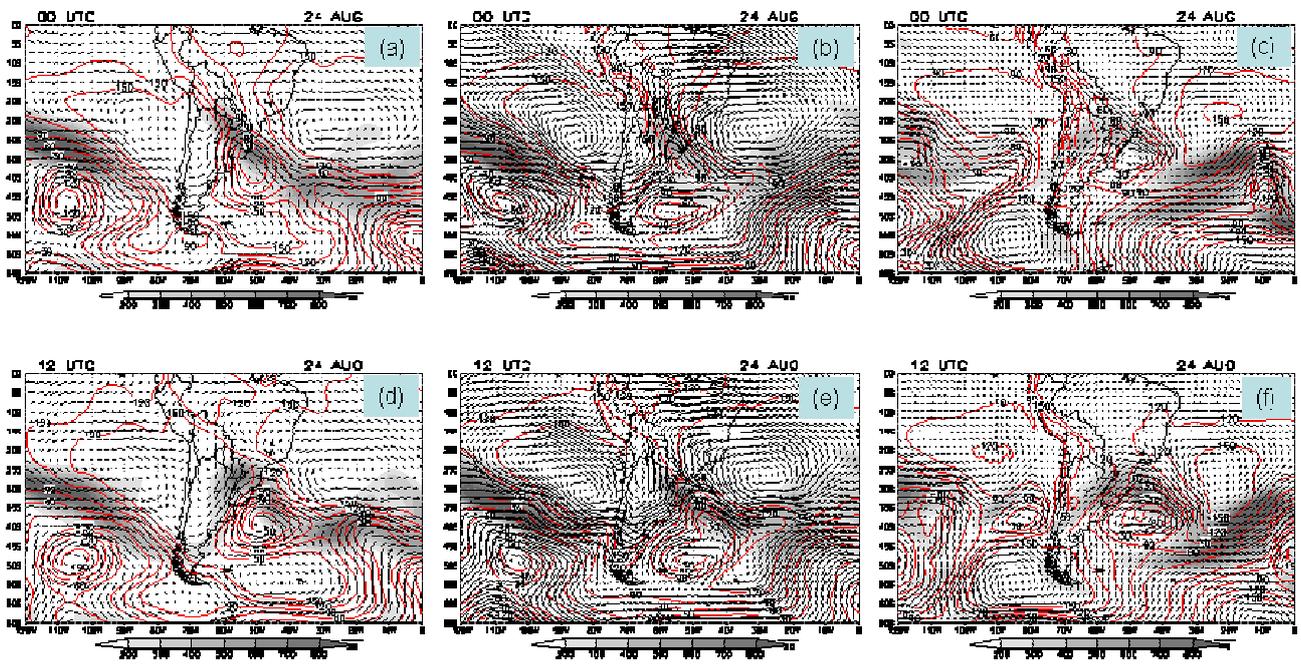


Figura 4

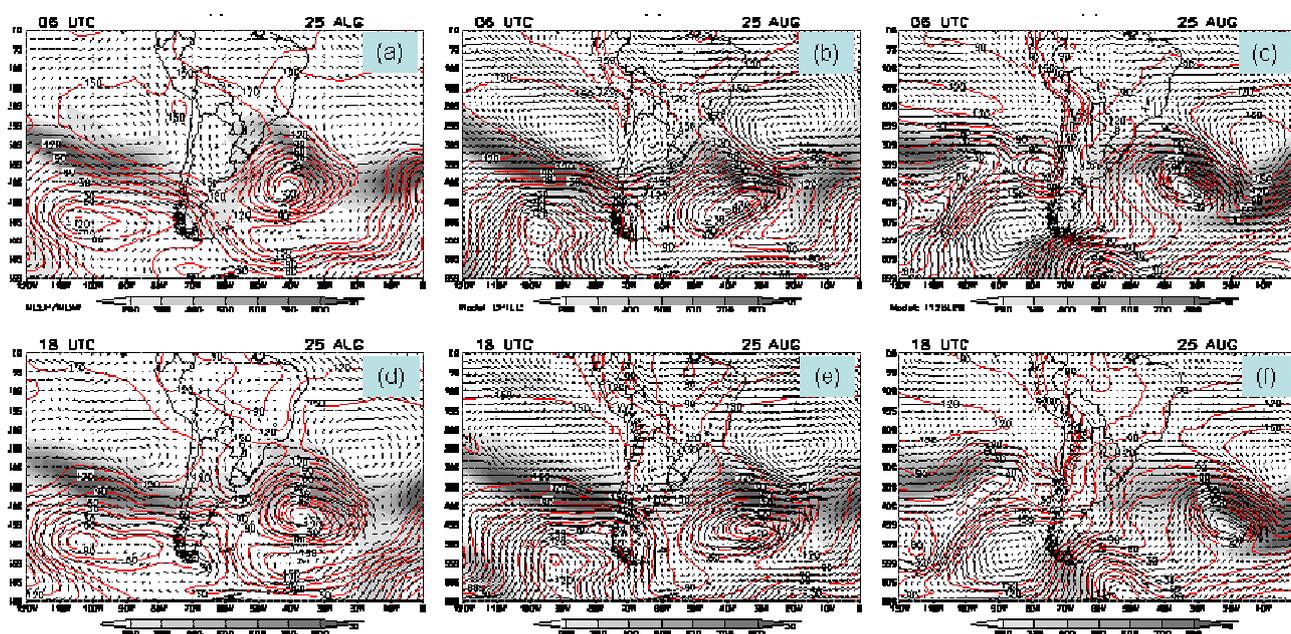


Figura 5

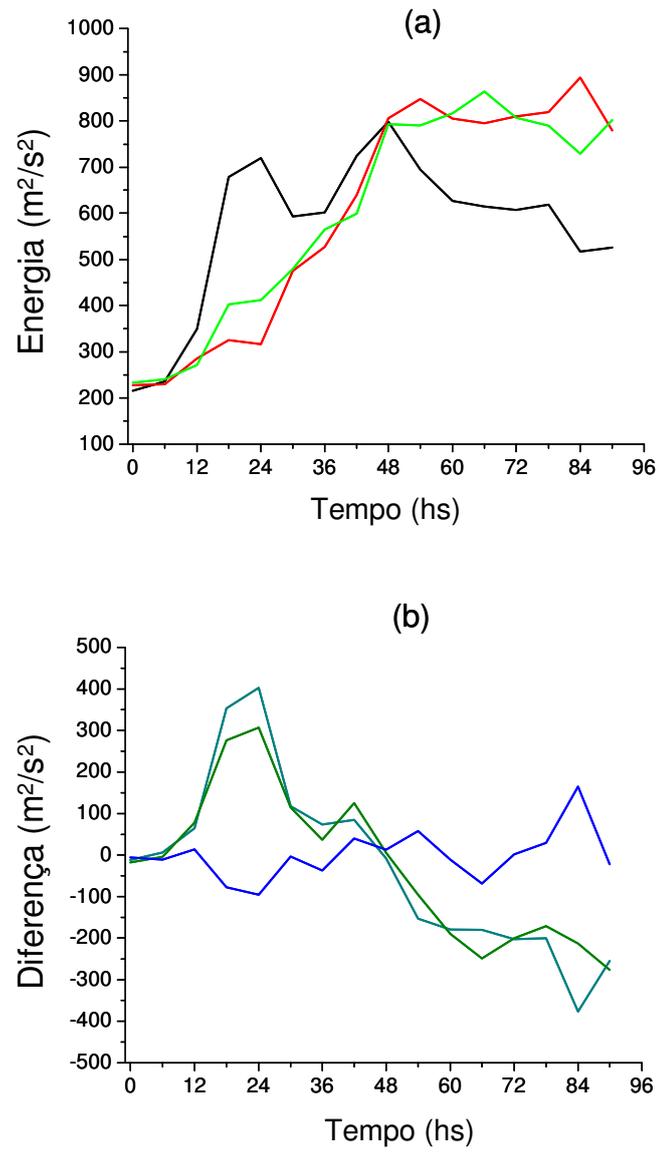


Figura 6

*Tabela 1*

	<b>Horas (h)</b>						
	12	24	36	48	60	72	Média
<b>NCEP/NCAR</b>	22.2	22.1	21.5	20.1	20.4	19.7	21.0
<b>GPSAS</b>	22.1	22.5	22.0	21.0	20.1	19.4	21.2
<b>NMC</b>	22.5	22.8	22.4	22.0	21.8	20.5	22.0