



Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza  
Instituto de Geociências  
Departamento de Meteorologia



## O DESEMPENHO DAS REANÁLISES NCEP E CFSR NA IDENTIFICAÇÃO DE CICLONES NÃO CONVENCIONAIS NO ATLÂNTICO SUL

Igor Cunha França do Amaral

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da  
Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção de  
grau de Bacharel em Meteorologia.

Rio de Janeiro, RJ

Julho, 2018

O DESEMPENHO DAS REANÁLISES NCEP E CFSR NA IDENTIFICAÇÃO DE  
CICLONES NÃO CONVENCIONAIS NO ATLÂNTICO SUL

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

Orientadora:

Ana Cristina Pinto de Almeida Palmeira, D. Sc.

O DESEMPENHO DAS REANÁLISES NCEP E CFSR NA IDENTIFICAÇÃO DE  
CICLONES NÃO CONVENCIONAIS NO ATLÂNTICO SUL

Igor Cunha França do Amaral

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da  
Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção de  
grau de Bacharel em Meteorologia.

Aprovado pela banca Examinadora em Julho de 2018.

Aprovada por:

---

Prof. D. Ana Cristina Pinto de Almeida Palmeira

---

Prof. D. Wallace Figueiredo Menezes

---

M. Sc. Rodrigo de Sousa Barreto Mathias

Rio de Janeiro, RJ  
Julho, 2018

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço antes de tudo a Deus que está comigo nesta minha vida me protegendo e me fortalecendo apesar de minhas falhas;

Agradeço muito a minha família, à minha mãe pelo carinho, apoio, presença e amor, ao meu pai pelos conselhos, incentivo e força, e muitos outros membros que fizeram parte da minha vida;

Agradeço aos meus professores, em especial a prof.(a) Ana Cristina pela paciência, pelas discussões e sugestões, pela motivação, pelos momentos de descontração, ou seja, pela orientação no sentido amplo da atividade;

Agradeço aos amigos Acadêmicos pelo companheirismo. Em especial aos de laboratório pelas ajudas computacionais;

## Resumo

O ciclone subtropical é um dos fenômenos meteorológicos com grande potencial para causar ventos intensos. Visando os problemas causados pelos ciclones e seu potencial destrutivo, se destaca a importância de melhorar o conhecimento das condições meteorológicas relacionadas as suas ciclogêneses e suas características termodinâmicas, bem como dos ciclones de aprisionamento quente e os híbridos, os quais, foram denominados de ciclones não convencionais.

Tendo isto em perspectiva, foi realizada uma análise de cinco anos para aprofundar o conhecimento sobre ciclones não convencionais, no Oceano Atlântico Sul, mais especificamente em  $050^{\circ}\text{W}$ - $030^{\circ}\text{W}$  e  $35^{\circ}\text{S}$ - $20^{\circ}\text{S}$ , utilizando informações de reanálises do CFSR e do NCEP, no intuito de identificar as possíveis ciclogêneses e ciclones não convencionais, através da análise e das observações de parâmetros meteorológicos.

Para essa região, verificou-se uma discrepância entre os resultados das reanálises devido às diferenças entre a resolução espacial e temporal, apresentando uma maior quantidade de ocorrência de ciclones (convencionais e não convencionais) as do CFSR, com cerca de 2 a 5 vezes a mais que o NCEP. Entretanto, as máximas ocorrências totais e específicas dos não convencionais, apresentaram padrões coerentes, como por exemplo, a sazonalidade, independente da reanálise utilizada.

Destacou-se a importância da TSM para a ocorrência dos ciclones não convencionais e do escoamento quente úmido de NW para a ciclogênese na região estudada, com máximos no verão e no outono.

Palavras-chave: Ciclones não Convencionais, Subtropicais, Híbridos, Climatologia, Reanálises, Catarina, Atlântico Sul.

## **Abstract**

The subtropical cyclone is a meteorological phenomena with great potential to cause high winds. In view of the problems caused by cyclones and their potential destructive, the importance of improving the knowledge of the meteorological conditions related to their cyclogenesis and their thermodynamic characteristics, as well as warm seclusion and the hybrids cyclones, which were denominated as non-conventional cyclones.

With this in perspective, was carried out a climatology to increase knowledge about cyclones non-conventional in the Southern Ocean Atlantic, more specifically in 050°W-030°W and 35°S-20°S, using reanalysis information CFSR and NCEP, in order to identify possible cyclogenesis and non-conventional cyclones, through analysis and observations of meteorological parameters.

For this region, there was a discrepancy between the results of the reanalysis due to the differences between the spatial and temporal resolution, presenting a greater amount of occurrence of cyclones (conventional and unconventional) than those of the CFSR, with about 2 - 5 times more than the NCEP. However, the maximum total and specific occurrences of the non-conventional, presented coherent standards, such as seasonality, independent of the reanalysis used.

It was emphasized the importance of SST for the occurrence of non-conventional cyclones and warm and humid flow from NW for cyclogenesis in the region studied, with highs in summer and autumn.

**Keywords:** Non-Conventional Cyclones, Subtropical, Hybrid, Climatology, Reanalysis, Catarina, South Atlantic.

## Sumário

1	Introdução .....	1
2	Ciclones.....	3
2.1	Definições .....	3
2.2	Classificações .....	4
2.3	Vento Térmico caracterizando ciclones .....	6
3	Metodologia e Dados .....	10
3.1	Dados.....	10
3.1.1	NCEP.....	10
3.1.2	CFSR.....	10
3.2	Metodologia .....	11
4	Resultados e Discussões.....	13
4.1	Padrões com as diferentes reanálises.....	13
4.2	Estudo de caso Catarina .....	18
4.2.1	NCEP.....	22
4.2.2	CFSR.....	31
5	Conclusão.....	39
5.1	Sugestões de Trabalhos Futuros .....	40
6	Referencias Bibliográficas .....	41

## Lista de figuras

Figura 2.1: Área representada por três regiões de maior incidência de ciclogêneses no Oceano Atlântico Sul.....	3
Figura 2.2: Ilustração de giro do vento geostrófico no perfil vertical da atmosfera.....	7
Figura 2.3: Diagrama do parâmetro de vento térmico em baixos e altos níveis do Diagrama de Fase para os ciclones. ....	9
Figura 3.1 – Diagrama de fase do parâmetro de vento térmico em baixos e altos níveis, do ciclone Catarina. Fonte: <a href="http://moe.met.fsu.edu/cyclonephase/archive/2004/">http://moe.met.fsu.edu/cyclonephase/archive/2004/</a> .....	12
Figura 4.1: Total anual de ciclones encontrados com a reanálise CFSR (linha contínua) e com a reanálise NCEP1 (linha pontilhada).....	14
Figura 4.2: Total anual de ciclones subtropicais ou híbridos encontrados com a reanálise CFSR (linha contínua) e com a reanálise NCEP1 (linha pontilhada).....	15
Figura 4.3: Total sazonal dos ciclones localizados com a reanálise CFSR (coluna preta) e NCEP1 (coluna cinza).....	16
Figura 4.4: Total sazonal dos ciclones subtropicais ou híbridos localizados com a reanálise CFSR (coluna preta) e NCEP1 (coluna cinza).....	17
Figura 4.5: Duração dos ciclones localizados com a reanálise CFSR (coluna preto) e NCEP1 (coluna cinza). ....	17
Figura 4.6: Duração dos ciclones não convencionais localizados com a reanálise CFSR (coluna preto) e NCEP1 (coluna cinza). ....	18
Figura 4.7: Imagens do satélite GOES-12 no canal 3 de 00z22/03/2004 a 12z28/03/2004.....	19
Figura 4.8: Campos do NCEP com linhas pretas de isóbaras(hPa) a PNMM e sombreado azul de vorticidade relativa( $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) a 1000hPa.....	23
Figura 4.9: Campos do NCEP com linhas pretas de isóbaras (hPa) a PNMM; e vento em barbelas(m/s) a 1000hPa; sombreado azul de vento térmico em altos níveis(-VTU); e sombreado vermelho de vento térmico em baixos níveis(-VTL).....	26
Figura 4.10: Campos do CFSR com linhas pretas de isóbaras(hPa) a PNMM e sombreado azul de vorticidade relativa( $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) a 1000hPa.....	31
Figura 4.11: Campos do CFSR com linhas pretas de isóbaras (hPa) a PNMM; e vento em barbelas(m/s) a 1000hPa; sombreado azul de vento térmico em altos níveis(-VTU); e sombreado vermelho de vento térmico em baixos níveis(-VTL).....	34

## **Lista de tabelas**

Tabela 2.1: Valores do parâmetro de vento térmico do Diagrama de Fase para os ciclones. .... 7

## 1 Introdução

As ciclogêneses e ciclones tem significativa importância na Meteorologia, sendo sistemas que conduzem ao equilíbrio atmosférico com o transporte de calor, temperatura e outras variáveis. Apesar desta finalidade, estão associados à precipitação e variações significativas de vento, causando condições adversas.

Um ciclone pode apresentar diferentes fases durante o seu ciclo de vida (gênese, maturação, dissipação) variando a sua estrutura e composição térmica ou mesmo adquirir forma híbrida (Jarvinen et al., 1984).

Diversos trabalhos têm estudado ciclones sobre o oceano Atlântico Sul próximo ao sul e sudeste do Brasil, seja no sentido climatológico ou em estudos de casos. Mathias (2012) como exemplo para esse trabalho realizou um estudo de caso do ciclone Catarina usando os perfis atmosféricos a partir de dados da Reanálise CFSR e utilizou o diagrama de fase para a caracterização e classificação do ciclone Catarina. Gozzo (2014), outro exemplo adotado para esse trabalho que investigou características subtropicais através das reanálises do ERA Interim e NCEP para rastrear e avaliar suas estruturas térmicas de forma climatológica do período de 1979 a 2011 são esses alguns exemplos recentes.

Este trabalho tem o objetivo de estudar as ciclogêneses no período de 2000 à 2005 na região subtropical do Oceano Atlântico Sul, em específico nas áreas adjacentes à região Sul e Sudeste do Brasil, comparando reanálises de distintas resoluções (CFSR e NCEP). Pode-se assim analisar a sua estrutura, ambiente sinótico e processo de formação com uma diferente perspectiva e então comparar os resultados com a literatura pré-existente.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

1) Identificar as ciclogêneses e ciclones dentro da região de estudo com as variáveis de pressão e vento, através da vorticidade relativa, com ambas as reanálises.

2) Avaliar, caso a caso, as variáveis atmosféricas associadas a ciclones na região do oceano Atlântico Sul próximo ao sul e sudeste do Brasil, abordando a identificação dos mesmos com características não convencionais e o seu tempo de vida.

3) Verificar através das reanálises do CFSR (*Climate Forecast System Reanalysis*) e do NCEP (*National Center for Environmental Prediction*) os campos de pressão, vorticidade relativa, vento em 1000hPa e o vento térmico em baixos e altos níveis através da altura geopotencial, ambos com distinções um do outro, evidenciando o melhor conjunto de reanálises para o estudo destes fenômenos.

4) Analisar através dos parâmetros de vento térmico do Diagrama de Fase (Hart, 2003) a estrutura dos ciclones em vários níveis, desde a sua ciclogênese até sua maturação.

5) Realizar um estudo de caso do ciclone Catarina por ser um ciclone não convencional de destaque amplamente estudado pela comunidade científica e pelo impacto destrutivo causado.

## 2 Ciclones

### 2.1 Definições

Ciclones são centros de baixa pressão à superfície, com isóbaras fechados em escala sinótica e com ventos em giros circulares e convergentes, em sentido horário (no Hemisfério Sul) e movimento vertical ascendente. O tempo de vida varia de um dia a duas semanas, com componentes de grande escala (circulação global), agindo no seu deslocamento (Bjerknes, 1911).

Na identificação de ciclones e ciclogêneses no Oceano Atlântico Sul, Gan e Rao (1991) usaram isóbaras fechadas de baixa pressão ao nível médio do mar com intervalos de 2 hPa e persistência de pelo menos 24 horas. Desta forma, encontraram duas regiões de maior incidência de ciclogênese, uma no sudeste da Argentina (Região 3) e outra no Uruguai (Região 2) conforme na Figura 2.1.

Outro meio usado no rastreamento de ciclones e ciclogêneses no Oceano Atlântico Sul através da vorticidade relativa ( $\zeta$ ), usada por Reboita (2008).

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad (2.1)$$

onde,  $\zeta$  = vorticidade relativa, o 1º termo é a derivada do vento meridional em relação à longitude x e o 2º termo é a derivada do vento zonal em relação à latitude y.

Além disso, Reboita (2008) usou a condição de persistência de 24 horas e um critério de vorticidade relativa menor que  $-1,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , encontrando assim, mais uma região de maior incidência: a costa sul e sudeste do Brasil (050°W-035°W; 35°S-25°S), denominada de Região1.

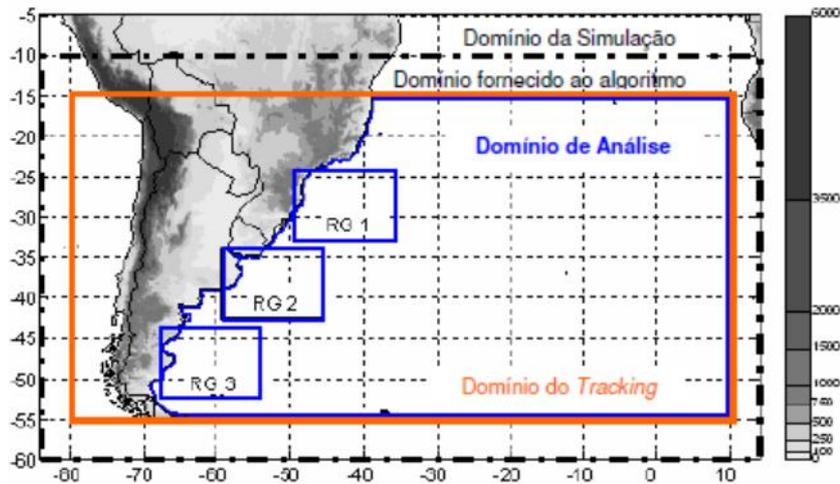


Figura 2.1 – Área representada por três regiões de maior incidência de ciclogêneses no Oceano Atlântico Sul. Reboita, (2008).

## 2.2 Classificações

Existem vários tipos de ciclones, amplamente estudados na literatura, podendo ser divididos em extratropicais (extratropicais de aprisionamento quente, explosivo), tropicais, subtropicais, híbridos. Estes sistemas não possuem limites rígidos, podendo passar por processos de transição, como por exemplo, ciclones tropicais que adquirem características extratropicais e vice-versa (Hart, 2003).

Caracteriza-se o ciclone extratropical por formação através da instabilidade oriunda do encontro de duas massas de ar com propriedades termodinâmicas diferentes, sendo uma instabilidade baroclínica, que associa o cisalhamento vertical ao escoamento horizontal, (Stull, 2000). Desta forma, obtendo a sua energia dos gradientes horizontais de temperatura, com os ventos mais intensos ocorrendo próximo à tropopausa, em função de possuírem núcleo frio na troposfera. Tal núcleo frio na troposfera significa que o sistema de baixa pressão possui menores temperaturas que o ambiente ao seu redor, para um dado nível de pressão (Guisard, 2006).

O ciclone tropical (denominado furacão sobre o oceano Atlântico) é definido como um centro de baixa pressão não-frontal de escala sinótica, associado a elevada temperatura da superfície do mar (TSM) para o seu desenvolvimento de onde obtém a sua energia de sustentação, devido a evaporação dos oceanos. A condensação de nuvens convectivas perto de seu núcleo e a liberação de calor latente movem um *feedback* positivo na sustentação do ciclones (Jarvinen *et al.*, 1984). Com a ausência significativa de gradiente de temperatura horizontal, os sistemas possuem estrutura barotrópica e núcleo quente em toda a troposfera.

Entre esses dois tipos convencionais de ciclones (tropicais e extratropicais), existem os ciclones híbridos, subtropicais e extratropicais de aprisionamento quente.

Um dos ciclones não convencionais é o de aprisionamento quente, um ciclone extratropical de rápida intensificação, onde o ar quente fica aprisionado próximo ao centro de baixa pressão. Portanto, o seu núcleo quente fica aprisionado abaixo de 600 hPa, em sua maioria, e frequentemente associado aos ciclones explosivos (Sander e Gyakum, 1980).

Sistemas híbridos evoluem de diferentes estruturas, tanto de tropical quanto de extratropical, uma categoria também não convencional do qual se categoriza por ciclones que transitam de ciclones extratropicais ou subtropicais para ciclones tropicais, também ocorre quando ciclones tropicais adquirem características extratropicais, com o deslocamento da convecção para o derredor do ciclone, resultando de uma estrutura frontal formada a partir do seu deslocamento para altas latitudes. Ou seja, um sistema transitório que obtém características de estrutura tanto de ciclones tropicais quanto extratropicais (Hart, 2003).

De maneira geral, os ciclones subtropicais possuem o núcleo quente restrito à baixa troposfera (aproximadamente até o nível de 600 hPa) e, ao contrário dos ciclones extratropicais, realizam pouco ou nenhum transporte de temperatura, uma vez que eles se formam em regiões com fraco gradiente térmico. Destaca-se ainda que os ciclones subtropicais não são raros no Atlântico Sul, mas sim os que atingem a categoria de tempestades subtropicais sobre o oceano Atlântico Sul próximo ao Brasil (Seba *et al.*, 2016).

A definição de ciclone subtropical de Jarvinen *et al.* (1984), considera o ciclone como um sistema não-frontal de baixa pressão que compõe inicialmente uma circulação baroclínica sobre águas subtropicais. Sendo geralmente de curta duração, porém podendo evoluir para furacões ou tempestades subtropicais. Possuem características tanto de ciclones extratropicais quanto de tropicais.

O ciclone Catarina foi o primeiro a ser classificado como ciclone de transição no Oceano Atlântico Sul, segundo Veiga *et al.* (2008). Os estudos feitos pelo diagrama de fase apresentaram a mudança de assimetria térmica na sua fase inicial para um sistema simétrico. Em seu ciclo de vida também foi verificada a estrutura híbrida, contendo um núcleo quente em baixos níveis e frio em altos níveis, vindo a transitar para um sistema de núcleo quente em todo o seu perfil vertical (Gozzo, 2010). Foi classificado como furacão de categoria 1 e desenvolvimento subtropical, que teve comportamento transitório, adquirindo estrutura tanto tropical quanto extratropical (McTaggart-Cowan *et al.*, 2006).

### 2.3 Vento térmico caracterizando ciclones

Uma maneira de analisar o ciclone é através dos parâmetros de vento térmico nas proximidades do centro dele, identificando se o núcleo está quente ou frio ao longo do seu perfil vertical. O vento térmico relaciona o cisalhamento do vento geostrófico com o gradiente horizontal médio de temperatura do ar na camada (Holton, 2004).

Através das fórmulas (2.2) se tem a relação das componentes do vento geostrófico com o geopotencial ( $\Phi$ ):

$$u_g = -\frac{1}{f} \frac{\partial \Phi}{\partial y} \quad v_g = \frac{1}{f} \frac{\partial \Phi}{\partial x} \quad (2.2)$$

$$d\Phi = g dz \quad (2.3)$$

Substituindo a fórmula (2.3) de modo a obter as componentes em função da altura geopotencial ( $Z$ ).

$$u_g = -\frac{g}{f} \frac{\partial Z}{\partial y} \quad v_g = \frac{g}{f} \frac{\partial Z}{\partial x} \quad (2.4)$$

E com a diferença das componentes do vento geostrófico entre dois níveis isobáricos, se encontra as componentes do vento térmico:

$$u_t = u_{g2} - u_{g1} \quad v_t = v_{g2} - v_{g1} \quad (2.5)$$

Assim, se tem a relação vetorial do vento térmico ( $V_T$ ) com o vento geostrófico ( $V_g$ ):

$$\vec{V}_T = \vec{V}_{g2} - \vec{V}_{g1} \quad (2.6)$$

E se o  $V_g$  apresentar uma rotação no sentido anti-horário (horário) na camada à medida que sobe, está havendo uma advecção quente (fria) no Hemisfério Sul (Figura 2.2) [Holton, 2004].

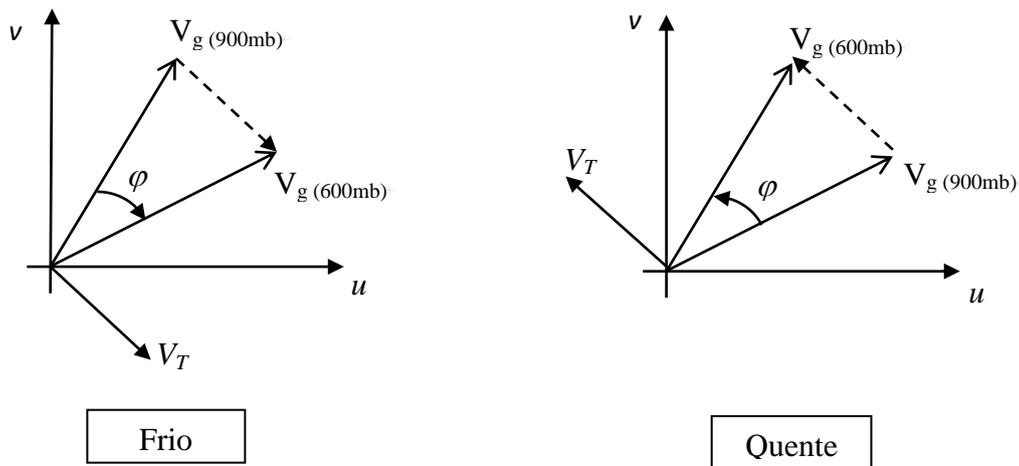


Figura 2.2 – Ilustração de giro do vento geostrófico no perfil vertical da atmosfera no Hemisfério Sul.

Portanto, foi equacionado para os campos de vento térmico deste trabalho o ângulo cosseno entre os vetores de vento geostrófico, para confirmar a sua advecção utilizando a fórmula (2.7):

$$\cos\varphi = \frac{x_1 \cdot x_2 + y_1 \cdot y_2}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2} \cdot \sqrt{x_2^2 + y_2^2}} \quad (2.7)$$

A Tabela 2.1 resume as características do perfil do vento térmico (onde o índice L indica os baixos níveis e U indica níveis elevados) para alguns tipos de ciclones desde que mantido por pelo menos 24 horas.

Tipo de ciclone	$- V_T^L $	$- V_T^U $
Tropical	$>>0$	$>>0$
Subtropical/Híbrido/ Aprisionado Quente	$>-10$	$<10$
Extratropical	$<0$	$<<0$

Tabela 2.1 – Valores do parâmetro de vento térmico do Diagrama de Fase para os ciclones segundo Guishard (2006) e Dutra (2012).

Nos ciclones subtropicais do Atlântico Norte, segundo Guishard *et al.* (2009), o núcleo quente é raso comparado a estrutura do ciclone tropical, não ultrapassando 500 hPa e por uma baixa fria em altos níveis que se posiciona sobre uma perturbação ciclônica em baixos níveis, assim apresenta o seu movimento ascendente. Disso, define-se que o vento

térmico em baixos níveis indica núcleo quente, enquanto que em altos níveis indica núcleo frio.

O Diagrama de Fase do Ciclone (Hart, 2003), resume esta classificação que descreve a estrutura tridimensional dos ciclones durante o seu ciclo de vida, através de três parâmetros que são calculados unicamente a partir do campo tridimensional de altura geopotencial, simetria térmica ou parâmetro B, vento térmico entre os níveis de 900hPa a 600hPa ( $-|V_T^L|$ ) e vento térmico entre os níveis de 600hPa a 300hPa ( $-|V_T^U|$ ).

A magnitude dos parâmetros de vento térmico é obtido através da variação do gradiente de altura geopotencial entre dois níveis isobáricos, dentro do círculo de raio de 500 km centrado no ciclone até a borda, respectivamente na baixa troposfera (índice L) e na alta troposfera (índice U).

Para o grau de simetria do ciclone, ou seja, a sua natureza frontal ou não-frontal, o parâmetro B é medido o gradiente de altura geopotencial da camada entre 900 hPa e 600 hPa, perpendicular ao movimento do ciclone. Este gradiente é obtido dentro de um raio de 500 km a partir do centro do ciclone em superfície. (Figura 2.3)

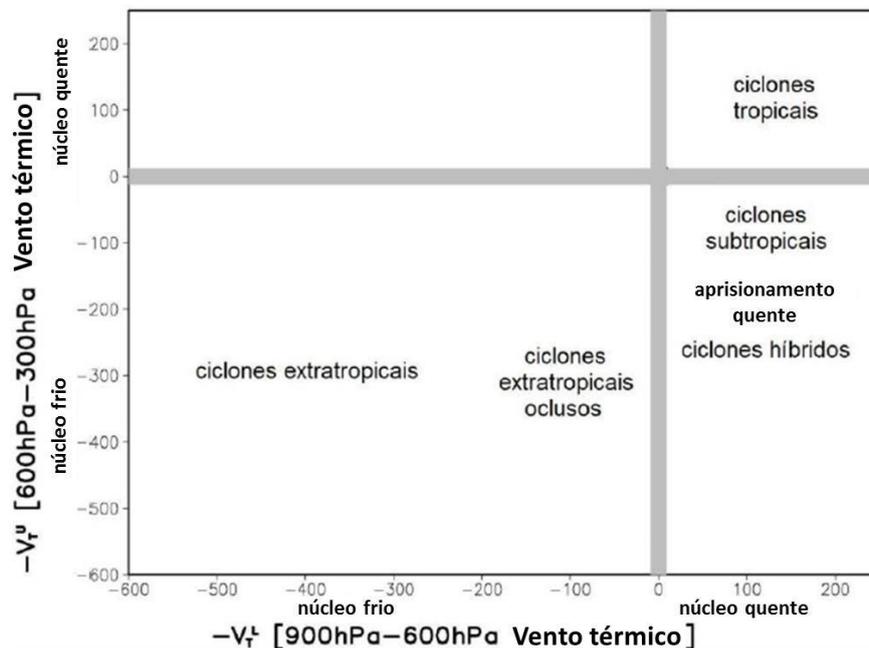


Figura 2.3 – Diagrama de fase do parâmetro de vento térmico em baixos e altos níveis, segundo Hart (2003).

Ou seja, com os parâmetros de vento térmico nas proximidades do centro do ciclone pode-se analisar termicamente o núcleo do ciclone em todo o seu perfil vertical. A intensidade

da variação da altura geopotencial cresce à medida que se aumenta a altura em um ciclone de núcleo frio de ciclone e desintensifica com a altura em um ciclone de núcleo quente.

Assim proposto, os ciclones tropicais se tem valores positivos para os parâmetros do vento térmico e os ciclones extratropicais apresentam valores negativos para os parâmetros do vento térmico (Hart, 2003).

### 3 Metodologia e dados

No intuito de quantificar a ocorrência de ciclones não convencionais no Atlântico Sul próximo ao Sul e Sudeste do Brasil entre 2000 e 2005, foram utilizadas dois conjuntos de reanálises, gerando campos de vento térmico em baixos e altos níveis, verificando o padrão térmico do núcleo do ciclone, de acordo com a caracterização de Hart (2003).

Vale ressaltar que o parâmetro B não foi avaliado para caracterizar os ciclones dentro do método de seleção, nas respectivas reanálises. Esse, aliás, é o motivo de não definir os ciclones não clássicos de forma mais específica, diferenciando entre os subtropicais, híbridos e aprisionados quentes.

A área escolhida para foco nesta pesquisa foi a 050°W-030°W e 35°S-20°S por conter a Região 1 de Reboita (2008) [Figura 2.1], e não apenas por possuir máximo de ciclogênese, mas pela ocorrência do ciclone Catarina nessa mesma região, o qual, será discutido posteriormente com maior detalhe.

#### 3.1 Dados

A análise dos ciclones não convencionais e as variáveis da composição atmosférica foram obtidas pelas reanálises CFSR e NCEP, ordenado em grade regular com resolução horizontal de 0,5° e 2,5° de latitude por longitude, respectivamente, com período analisado desde 0000 UTC do dia 01 de janeiro de 2000 até 1800 UTC de 31 de dezembro de 2005.

##### 3.1.1 NCEP

Para o período de estudo foi utilizado a reanálise do *National Center for Environmental Prediction* (NCEP), com resolução horizontal de 2,5° de latitude por 2,5° de longitude, 10 níveis verticais de pressão (1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250 e 200 hPa) e em quatro horários diários (0000, 0600, 1200 e 1800 UTC).

##### 3.1.2 CFSR

Também foram utilizadas as informações de reanálise do *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR), que contém um banco de dados de alta resolução horizontal, disponíveis em 64 níveis de pressão, indo desde a superfície até 0,26 hPa com resoluções horizontais de 0,3°, 0,5°, 1,0°, 1,9°, e 2,5° e resolução temporal de 1 hora. Aproveitando então para este

trabalho a resolução horizontal de 0,5°, os mesmos níveis verticais de pressão disponíveis pelo NCEP e o intervalo de tempo de 1 hora.

As informações dos campos atmosféricos do CFSR são oriundos do modelo *Global Forecast System* (GFS), junto com o modelo oceânico *Modular Ocean Model* (MOM4), sendo então, resultante do acoplamento de modelos.

### 3.2 Metodologia

Foi feita uma interpolação entre as reanálises para que pudessem ser comparadas diretamente. Usando uma função do sistema GrADS que realiza a interpolação entre duas grades, da maior para menor resolução de grade. Inserindo pontos da grade do CFSR ausentes na grade do NCEP, produzindo assim uma grade proporcional a comparação.

Os campos e perfis das informações de reanálise foram gerados com o *Grid Analysis and Display System* (GrADS) [DOTY, 1995] e foi adotado o critério do ciclone ter no seu centro uma vorticidade relativa negativa menor ou igual a  $-1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  no campo de vento horizontal de 1000 hPa, sendo um localizador para movimento circular horário, persistindo durante o período de seis horas, escolhido esse período como o mínimo para identificar também ciclones com curta duração que apesar de normalmente ser de menor intensidade permanece tendo potencial para condições adversas.

Além disso, também utilizou-se a exigência das isóbaras serem fechadas ao nível médio do mar; porém, tendo apenas uma isóbara fechada como critério em campos com o gradiente de pressão de 1 hPa dentro de uma área de  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ , e novamente persistindo por no mínimo seis horas. Então para eliminar centros espúrios é considerado apenas a região oceânica e cumprir tanto o critério de vorticidade relativa quanto de isóbaras serem fechadas ao nível médio do mar.

Para se definir como ciclone não convencional, também foi definido que o vento térmico em baixos níveis seria quente ( $0 < -|V_T^L| < 10$ ) e que o vento térmico em altos níveis seria frio ( $-10 < -|V_T^U| < 0$ ) com a persistência de seis horas e dentro de um raio de 500 km a partir do centro do ciclone a sua borda. Intervalo escolhido por ser o mesmo encontrado no ciclone Catarina durante seu período de transição não convencional conforme Figura 3.1.

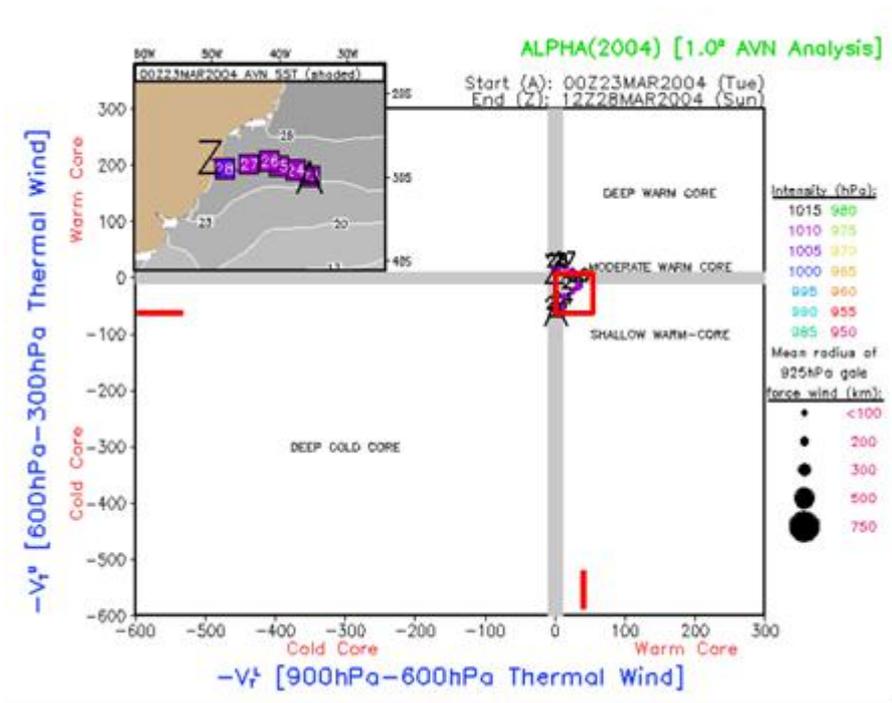


Figura 3.1 – Diagrama de fase do parâmetro de vento térmico em baixos e altos níveis, do ciclone Catarina. Fonte: <http://moe.met.fsu.edu/cyclonephase/archive/2004/>.

Também, optou-se por não usar um rastreador de ciclones, uma vez que em sua maioria, eles apenas quantificam os ciclones, sem separá-los termodinamicamente. Desta forma, a contagem foi feita minuciosamente, de forma manual, quadro a quadro e montado tabelas que resumissem as suas características.

Já para o estudo de caso do ciclone Catarina, foram usados campos atmosféricos que resumem a análise termodinâmica: PNMM, vento,  $V_T^L$ ,  $V_T^U$ .

## 4 Resultados e Discussões

### 4.1 Padrões com as diferentes reanálises

Foi feita uma padronização dos ciclones no Oceano Atlântico Sul próximo à costa Sul/Sudeste do Brasil no período de 2000 a 2005, contabilizando o somatório de todos os ciclones encontrados a cada ano com a metodologia mencionada anteriormente, dispondo assim uma frequência anual dos ciclones e ciclogêneses que ali atingiram, com a representação da reanálise CFSR em linha contínua e do NCEP com linha pontilhada. (Figura 4.1)

Nos totais absolutos, o CFSR reconheceu 406 ciclones, enquanto que o NCEP, apenas 163. As médias anuais apresentaram valores superiores que aquelas mencionadas por Reboita *et al.* (2010) que fez a climatologia de ciclones através de um esquema automático de identificação por mínimos de vorticidade relativa no vento a 10 m de altura e tempo de duração igual ou superior a 24 horas, no período de 1990 a 1999 com o NCEP, na região próximo à costa sul e sudeste do Brasil e identificou 296 ciclogêneses. E médias anuais inferiores que mencionadas por Gozzo (2014) que apresenta uma climatologia de ciclones com algoritmo de identificação e rastreamento de ciclones por vorticidade relativa no vento em 925 hPa que persista por mais de 24 horas feito com duas reanálises o ERA Interim e o NCEP, para o Atlântico Sul (070°W-005°W e 50°S-10°S) no período de 1979 a 2011, média anual de ciclones  $181,4 \pm 13,3$  com NCEP1, e  $194,7 \pm 13,4$  com ERAInt.

Resultados esperados pelo fato de serem considerados os ciclones de curta duração neste estudo e que não foram contabilizados por Reboita *et al.* (2010). Assim como as médias anuais encontradas por Gozzo (2014) serem superiores por pesquisar uma área de estudo maior. Porém como encontrado na climatologia realizada por Gozzo (2014), também foi identificado uma maior frequência de ciclones com a reanálise de maior resolução horizontal, além de um decréscimo na frequência no ano de 2003 (Figura 4.1).

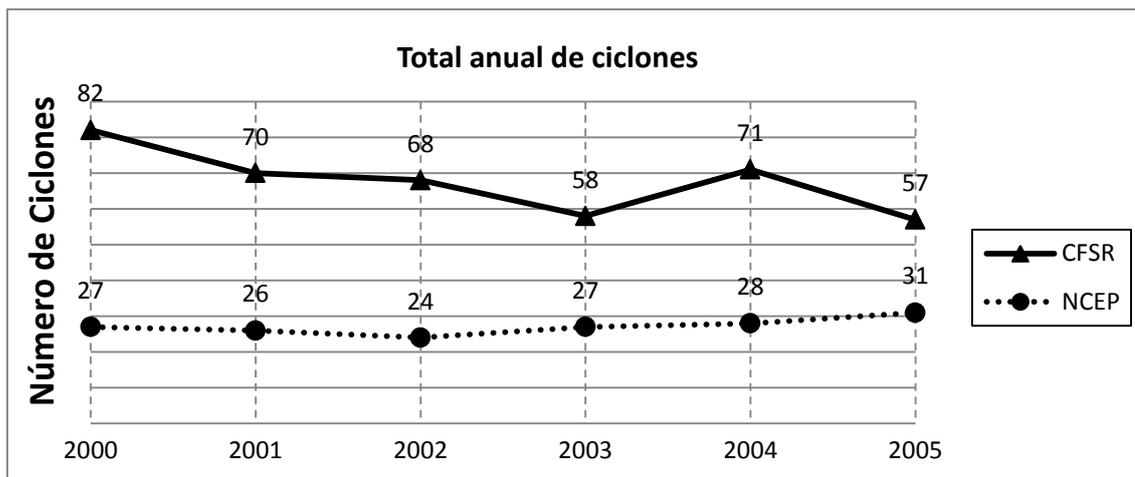


Figura 4.1 – Total anual de ciclones encontrados com a reanálise CFSR (linha contínua) e com a reanálise NCEP1 (linha pontilhada).

Através da Figura 4.2, verificou-se um padrão dos ciclones especificamente com uma estrutura quente em sua base e frio em níveis superiores na Região 1. Ou seja, entre os ciclones encontrados na frequência anual da Figura 4.1, foram contabilizados na Figura 4.2 todos os ciclones que adquiriram a estrutura quente em baixos níveis e fria em altos níveis, estes foram considerados podendo ser híbridos, subtropicais ou extratropicais com aprisionamento quente. Ressaltando que houve 86 casos no total pelo CFSR, e apenas 37 casos no total pelo NCEP (Figura 4.2). Esse resultado sugere o ganho do CFSR em utilizar o acoplamento do modelo oceânico. Semelhante à Figura 4.1 tem-se uma maior frequência com a reanálise de maior resolução e também tem-se valores compatíveis com as médias encontradas por Gozzo (2014) e o decaimento no ano de 2003 para os ciclones de estrutura quente em baixos níveis, no período e região apresentados. Fato interessante para se averiguar em estudos de teleconexões.

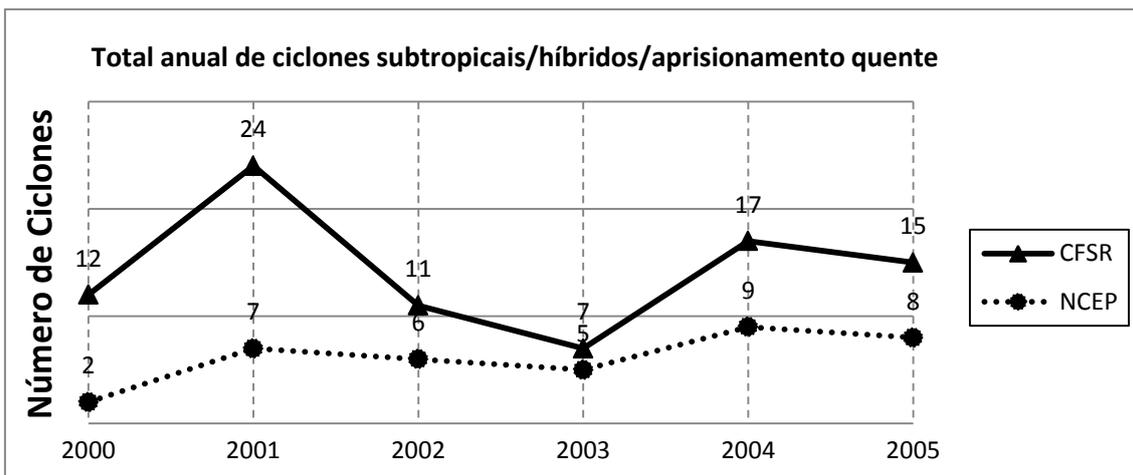


Figura 4.2 – Total anual de ciclones subtropicais ou híbridos encontrados com a reanálise CFSR (linha contínua) e com a reanálise NCEP1 (linha pontilhada).

Na Figura 4.3 se verifica a variação sazonal do total de ciclones, sendo exposto o somatório dos valores da Figura 4.1 atribuídos por sua frequência sazonal. Os valores da reanálise CFSR representados na coluna preta e os do NCEP na coluna cinza. Foi encontrada a maior frequência no verão em ambas reanálises, com 127 pelo CFSR e 54 pelo NCEP, seguido pela primavera com 111 casos encontrados pelo CFSR e 44 pelo NCEP. As menores frequências ocorreram no outono pelo CFSR com 66 casos, e no inverno pelo NCEP com 22 casos.

Análogo Reboita *et al.* (2010), a maior frequência no verão seguido da primavera, e a menor frequência no inverno no caso do NCEP, porém tendo apenas a primavera como segunda maior frequência de compatível da média sazonal de Gozzo (2014)

A variação sazonal encontrada na Figura 4.3 parece ter alguma conexão o escoamento atmosférico de Noroeste, contribuindo com calor e umidade para a região 1 do oceano no verão e primavera, típico de ZCAS e ZCOU (Mathias e Palmeira, 2016).

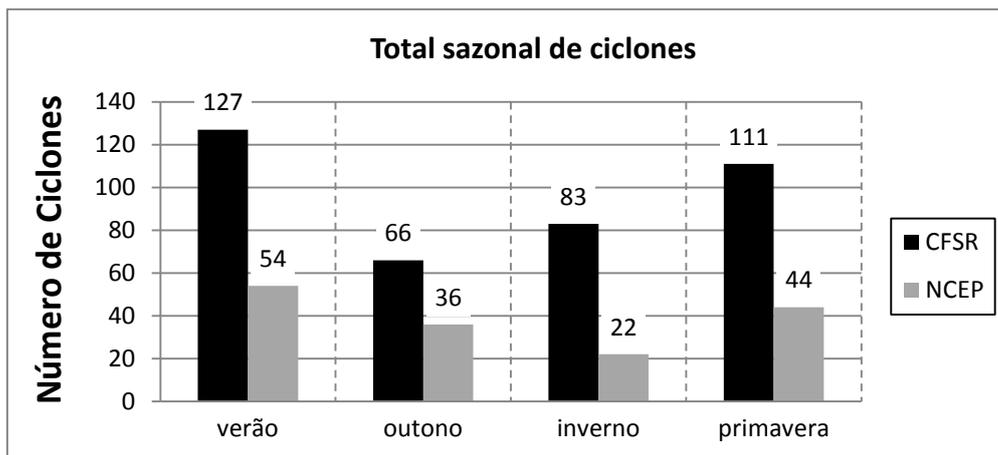


Figura 4.3 – Total sazonal dos ciclones localizados com a reanálise CFSR (coluna preto) e NCEP1 (coluna cinza).

Na Figura 4.4 foi indicado o total sazonal de ciclones quentes em baixos níveis e frios em altos níveis, contabilizado de forma semelhante à Figura 4.3, expondo o somatório dos valores da Figura 4.2, divididos por sua frequência sazonal. A maior frequência aparece no verão, seguido do outono, e em ambas reanálises e apresentando a menor frequência de casos no inverno. Resultado este semelhante ao da climatologia de Gozzo (2014), que utilizou para identificar os ciclones subtropicais as reanálises do ERA Interim e o NCEP para os parâmetros de vento térmico quente em baixos níveis e frio em altos níveis e utilizou o parâmetro B para confirmar a simetria, com duração acima de 36 horas, no oceano Atlântico próximo ao sul e sudeste do Brasil, no período de 1979 a 2011. Porém diferiu de resultados climatológicos de Evans e Braun (2012) que pesquisou o oceano atlântico sul no período de 1957-2007, usando os mesmos parâmetros de Gozzo (2014) porém, descartando ciclones que não sustentasse ventos acima de 17 m/s e atingisse circulação ciclônica acima de 500 hPa por mais de 24 horas, encontraram maior frequência no outono, seguido do inverno. Mais uma vez, sugere-se que para a camada inferior estar mais aquecida, o papel do oceano é um fator de influência para maior parte. Vale ressaltar que a inércia térmica dos oceanos guarda o calor recebido no verão por mais aproximadamente 2 meses, influenciando o outono (Reboita et al., 2010).

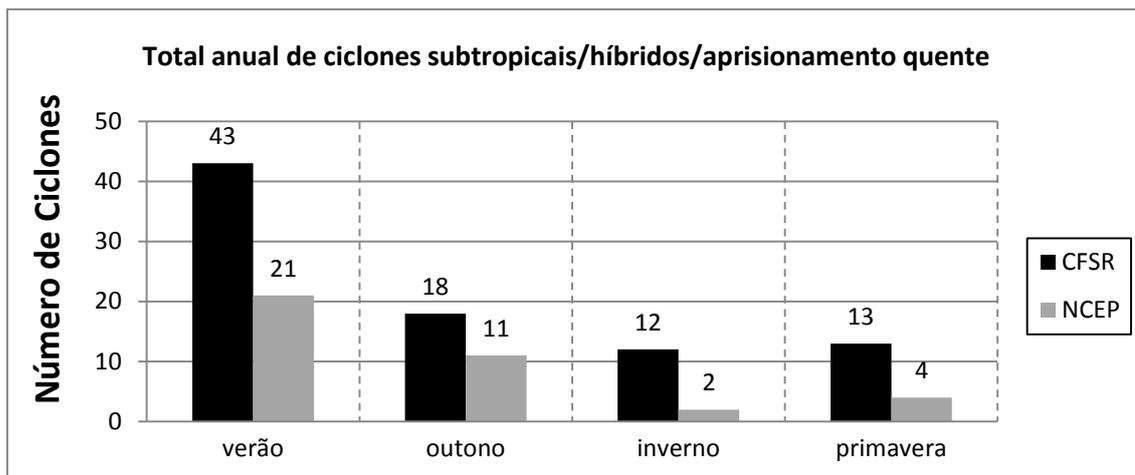


Figura 4.4 – Total sazonal dos ciclones subtropicais ou híbridos localizados com a reanálise CFSR (coluna preto) e NCEP1 (coluna cinza).

A duração de todos os ciclones encontrados na Região 1 foram classificados contabilizando o quantitativo de ciclones pela duração de 6 em 6 horas, conforme exposto na Figura 4.5. Nesta, destaca se o elevado número de ciclones com curta duração, o que explica a maior frequência encontrada. Na reanálise CFSR, 75% dos ciclones permaneceram menos de 24 horas, com 44% durando entre 6 e 12 horas; com o NCEP, 51% permaneceu menos de 24 horas, sendo 27% entre 6 e 12 horas.

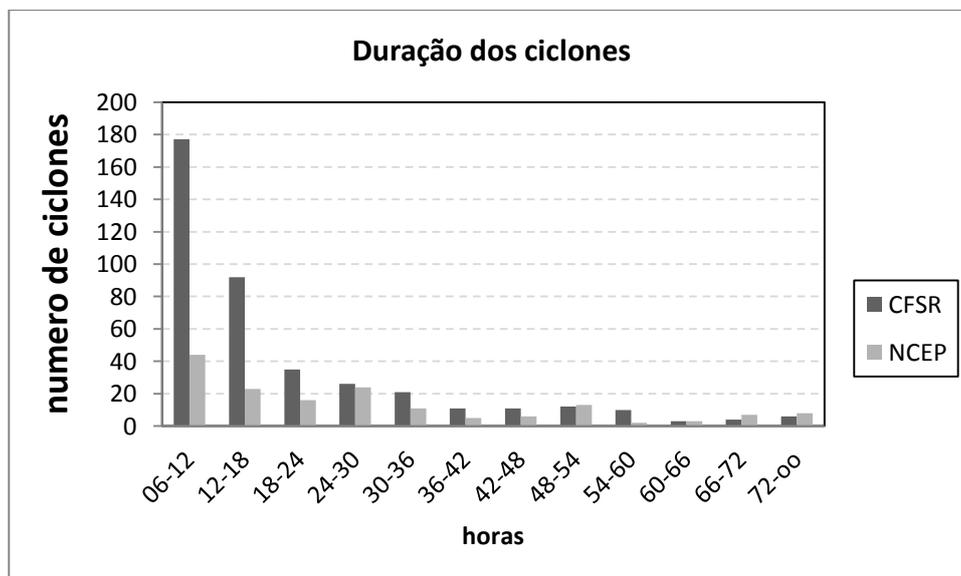


Figura 4.5 – Duração dos ciclones localizados com a reanálise CFSR (coluna preto) e NCEP1 (coluna cinza).

Dentro de todos os ciclones encontrados, também foi avaliado o período que o ciclone permaneceu com a estrutura não convencional, tendo vento térmico quente em baixos níveis e frio em altos níveis. Essa quantia foi calculada e separada pela duração de 6 em 6 horas, apresentado na Figura 4.6. Nos casos encontrados, nenhum ciclone permaneceu por um longo período de tempo dentro dos critérios utilizados, permanecendo menos que 18 horas, com exceção do ciclone Catarina.

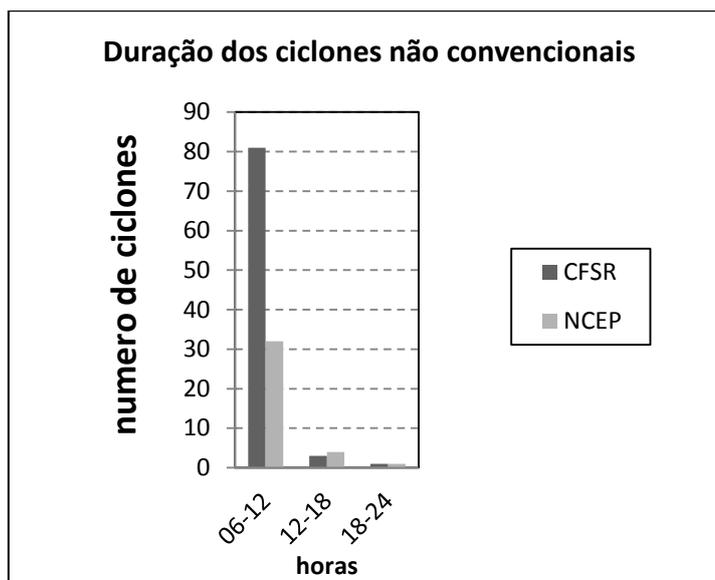


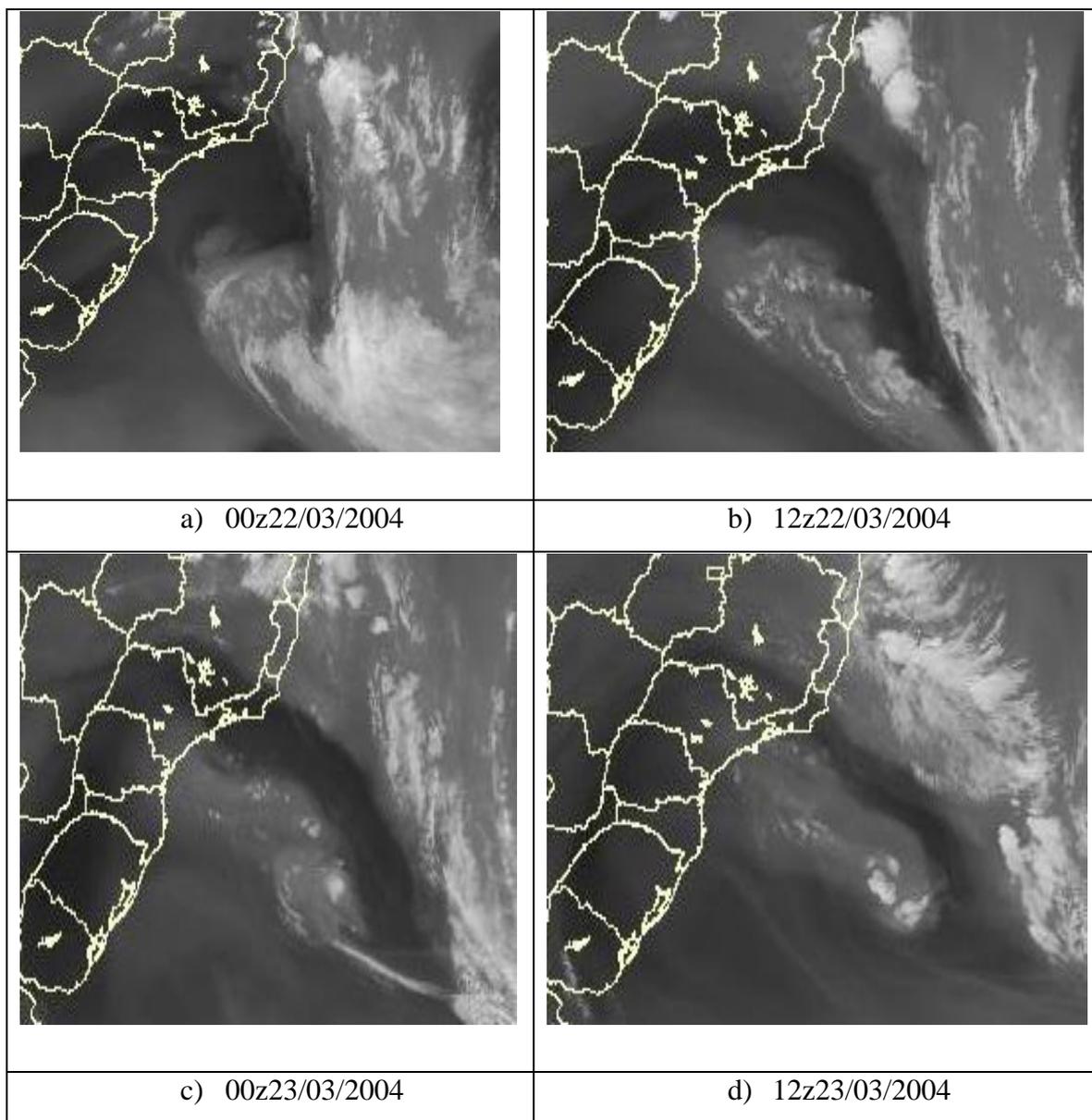
Figura 4.6 – Duração dos ciclones não convencionais localizados com a reanálise CFSR (coluna preto) e NCEP1 (coluna cinza).

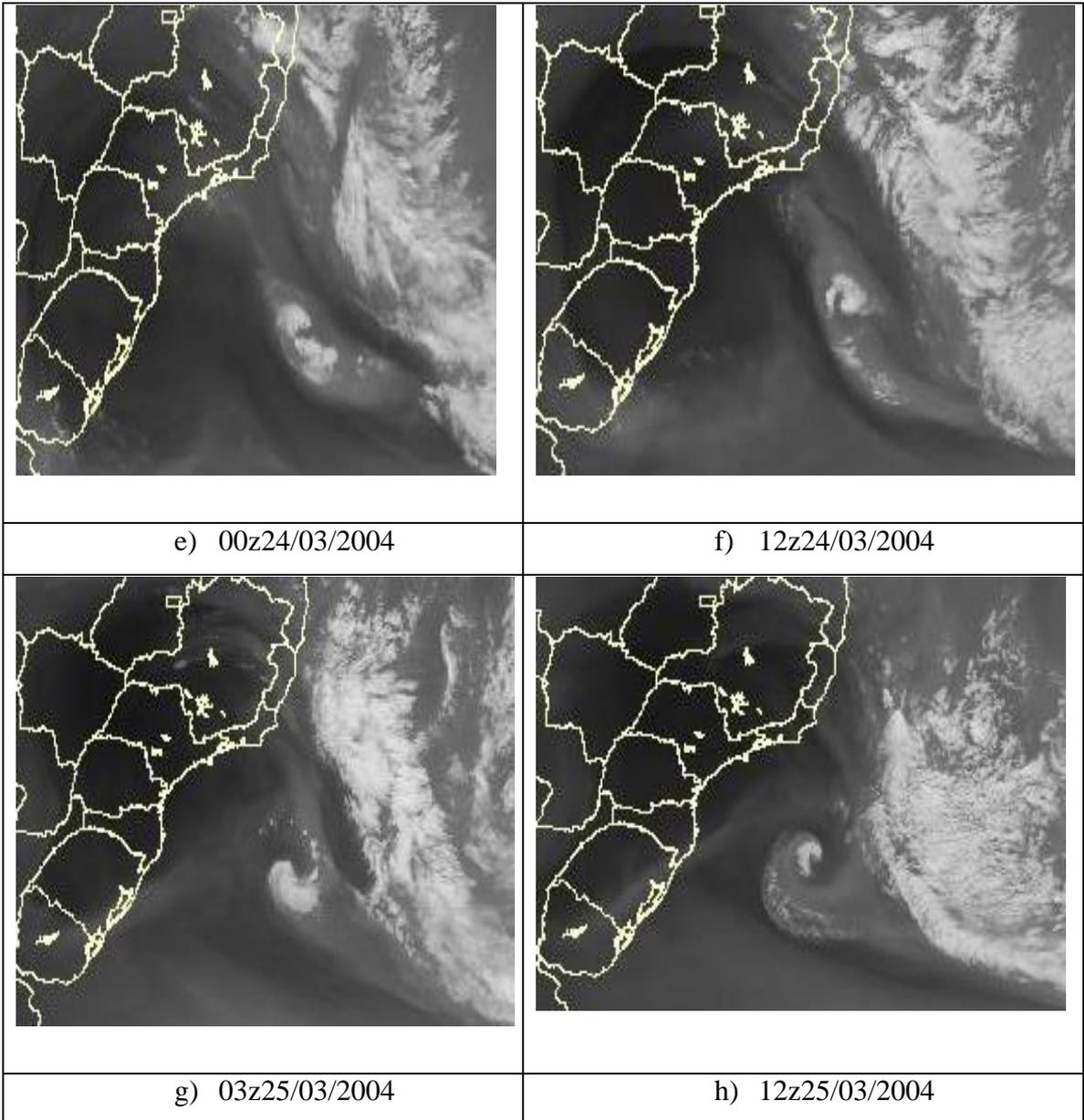
## 4.2 Estudo de Caso Catarina

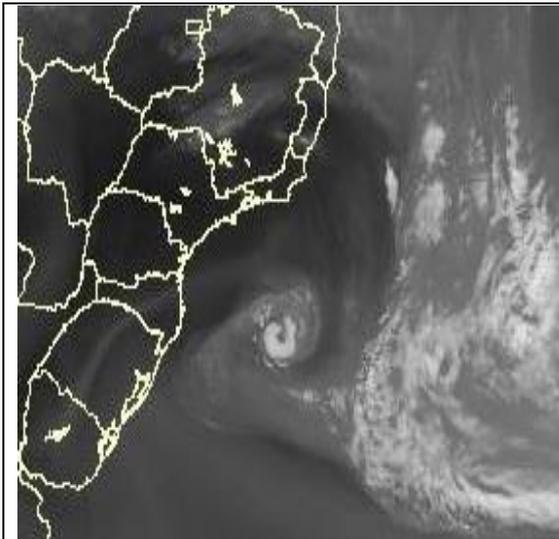
O ciclone Catarina, foi escolhido por ser um ciclone que apresenta características especiais, além de ter afetado a costa brasileira em 26 de março de 2004, ou seja, durante o outono.

A ciclogênese começou a se desenvolver a partir do dia 20 de Março, quando apresentou uma faixa nebulosa associada a uma estrutura de um sistema frontal. Nos dias 22 e 23, pelas imagens do GOES-12 canal 3, o ciclone se afastou da faixa nebulosa e formou um núcleo de nuvens (Figura 4.7 a - d), inicialmente pouco profundo; porém, com o decorrer do tempo aumentou a sua profundidade e concentração (Figura 4.7 e - f), depois apresentando nuvens com movimento espiral e núcleo com formato de vírgula (Figura 4.7 g - h). No dia 24, observou-se o ciclone com comportamento anômalo, indo em direção à costa brasileira; e entre os dias 25 e 26, o ciclone formou o ‘olho’ com nuvens em espiral (Figura 4.7 i - j). No

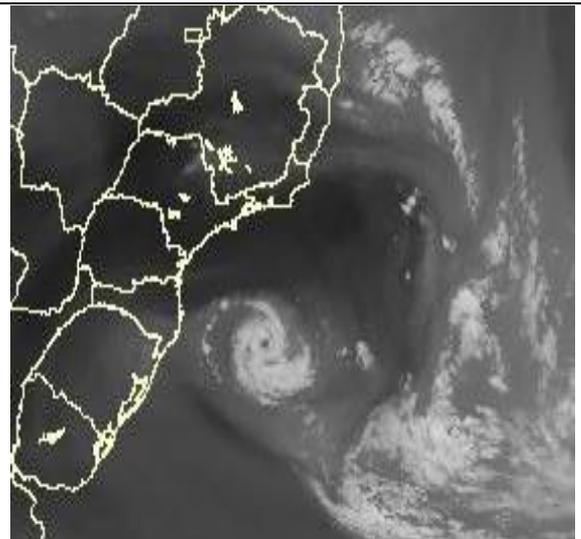
dia 27, a circulação ciclônica atingiu o litoral causando grande impacto (Figura 4.7 k - l). No dia 28, o sistema se desorganizou (Figuras 4.7.m - n).



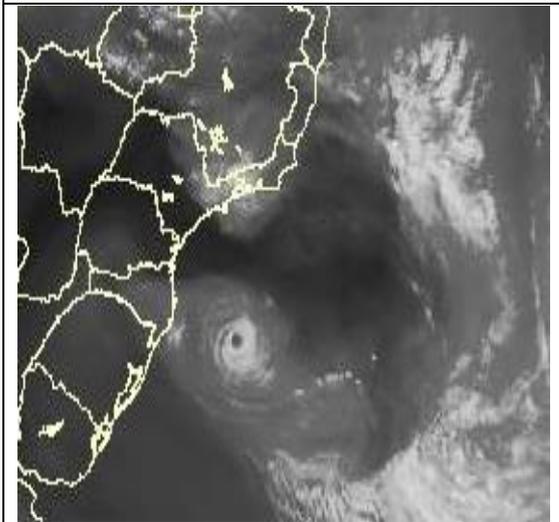




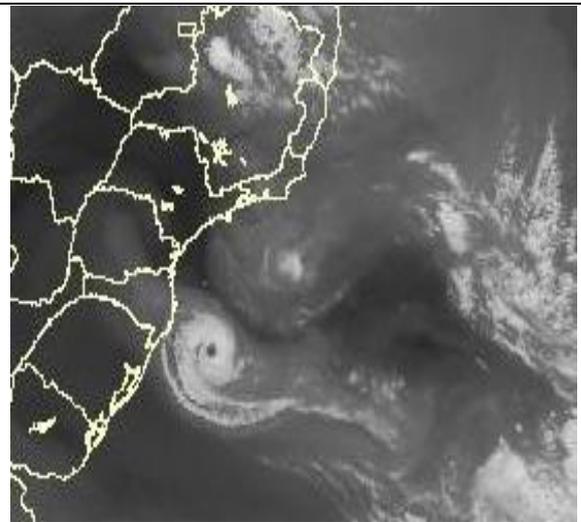
i) 00z26/03/2004



j) 12z26/03/2004



k) 00z27/03/2004



l) 12z27/03/2004

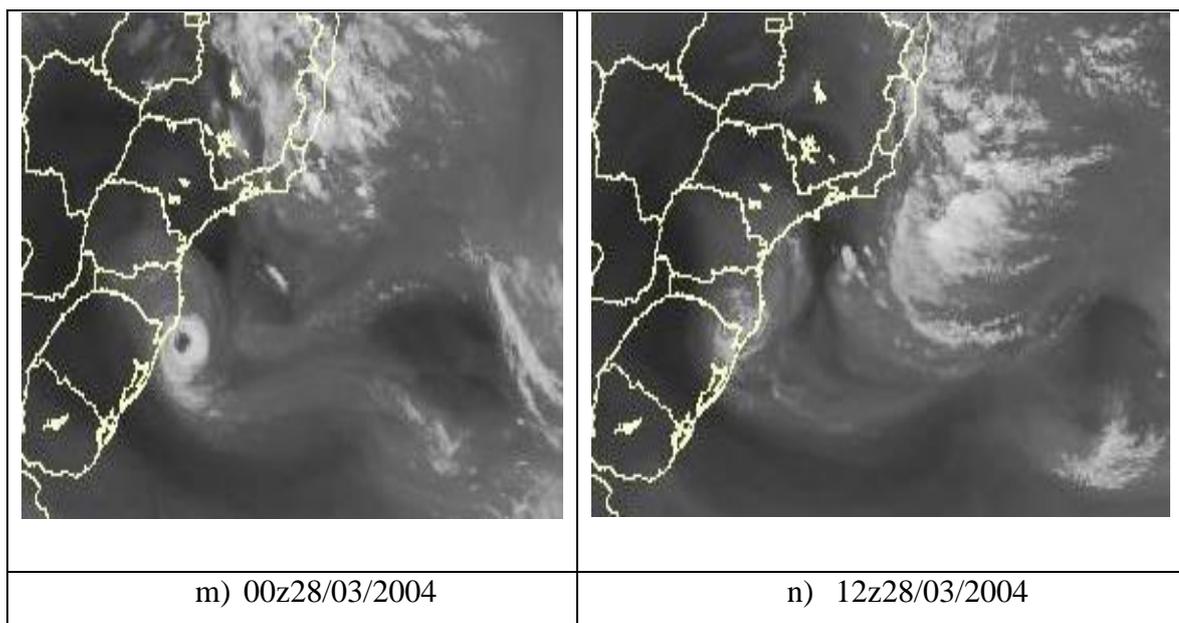


Figura 4.7 – Imagens do satélite GOES-12 no canal 3 de 00z22/03/2004 a 12z28/03/2004.

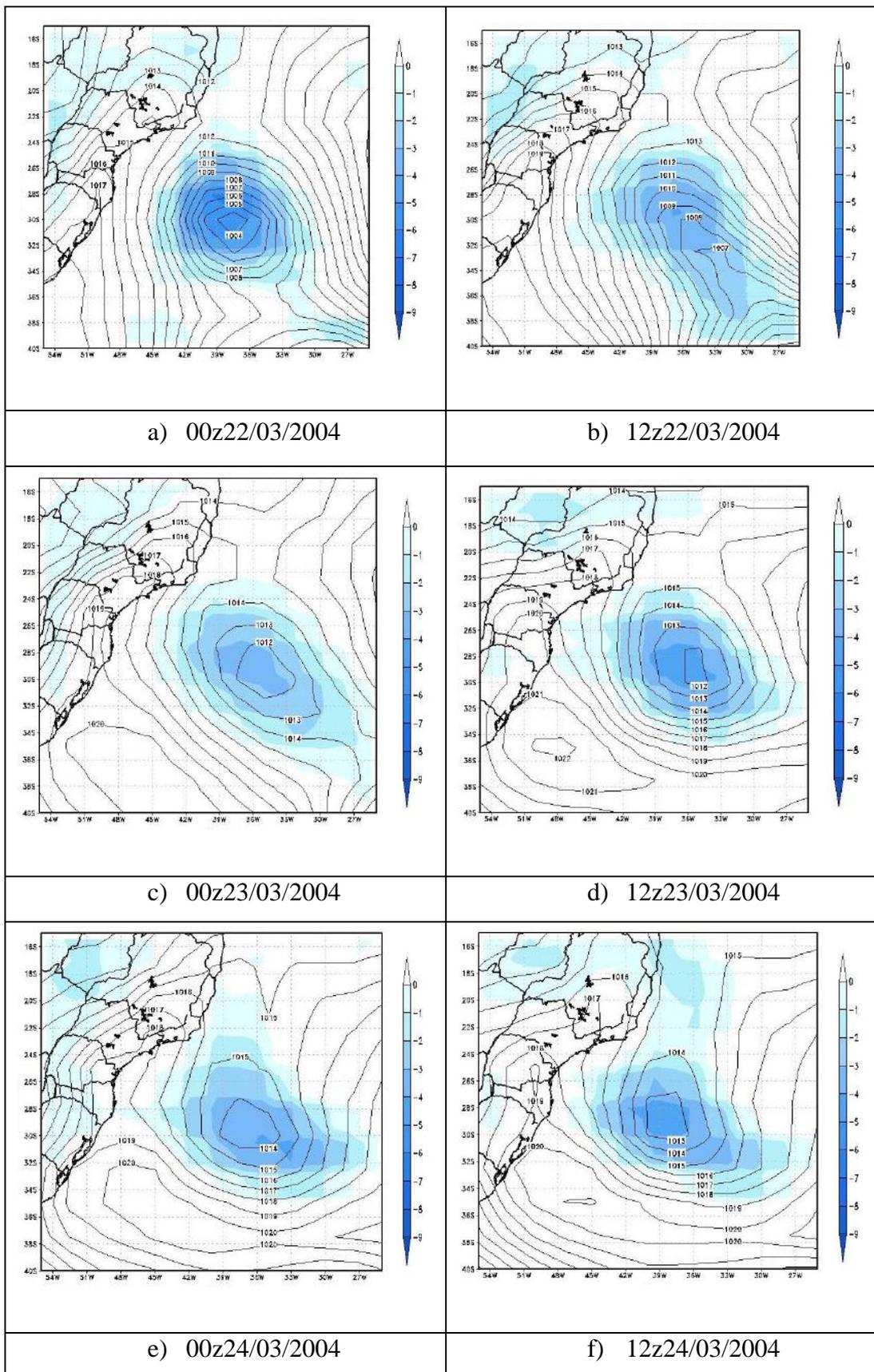
Fonte:CPTEC/INPE

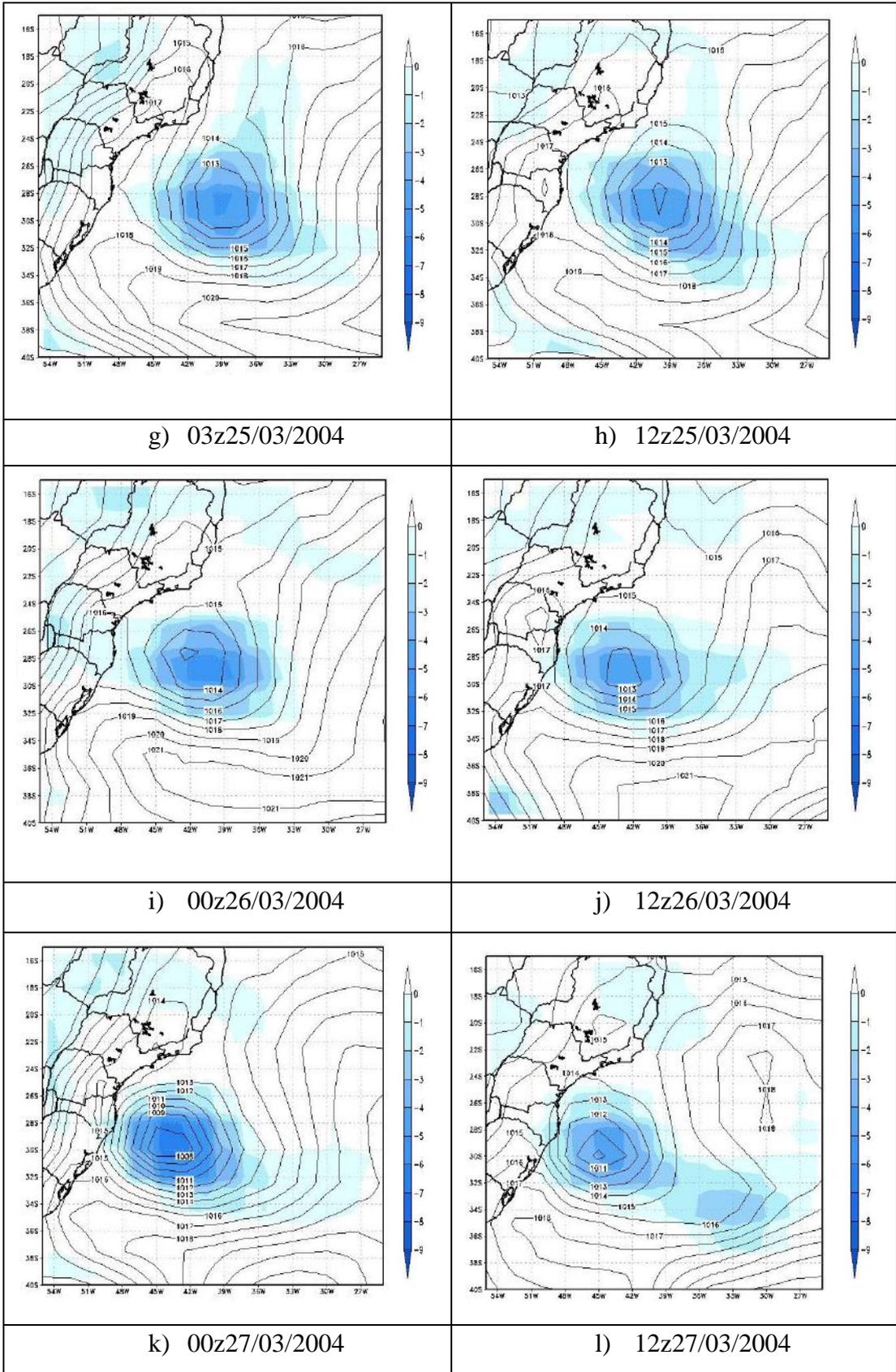
No intuito de avaliar a representatividade das diferentes reanálises, o ciclone Catarina foi caracterizado segundo as suas informações atmosféricas em diferentes níveis e variáveis, bem como, após cada avaliação dos respectivos ventos térmicos em níveis, baixos e altos.

#### 4.2.1 NCEP

Inicialmente, foram avaliados a vorticidade negativa, a qual apresentou a menor variação, além de ter atingido áreas maiores. Mesmo com este maior espalhamento, se pôde acompanhar o movimento ciclônico, estando mais marcante que o núcleo de baixa pressão e gerando uma boa resposta quando o núcleo se tornou mais profundo (Figura 4.8).

De uma maneira geral, NCEP registrou uma menor quantidade de ciclones e os que foram registrados apresentaram um menor ciclo de vida. Isso é também observado nas imagens do ciclo de vida do ciclone Catarina, onde o ciclone “perde” intensidade (isóbara da baixa) às 12z de 22/03/2004 e volta a se formar às 00z de 23/03/2004. No entanto, a vorticidade relativa permanece presente com seu núcleo negativo durante esse período. Além disso, se observou a resposta da vorticidade relativa que se intensificou mediante a intensificação do gradiente de pressão, sendo comprovado ser um indicador para a sua variação de intensificação e sua formação.





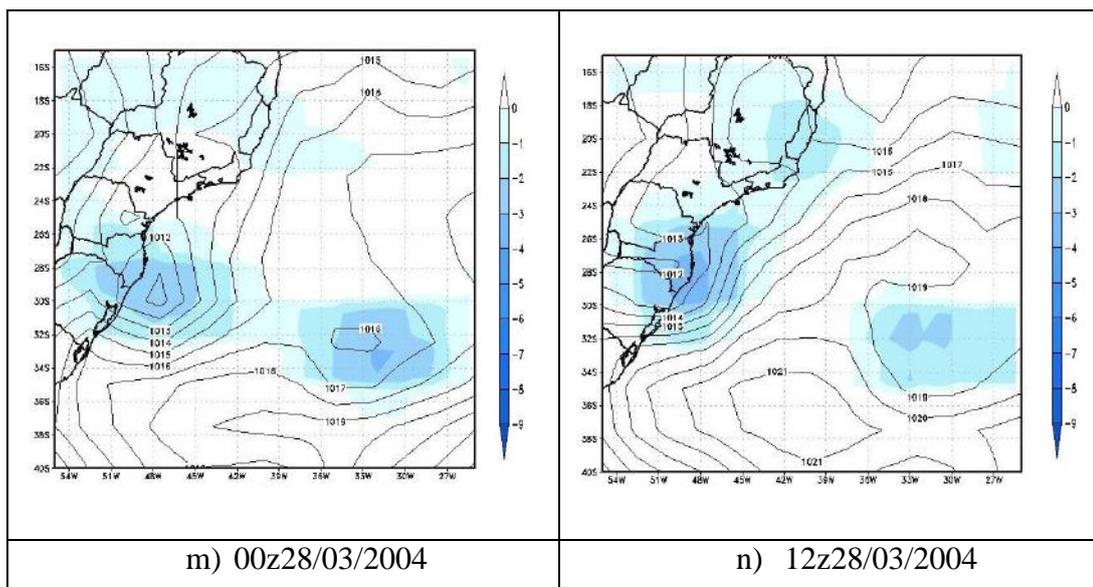
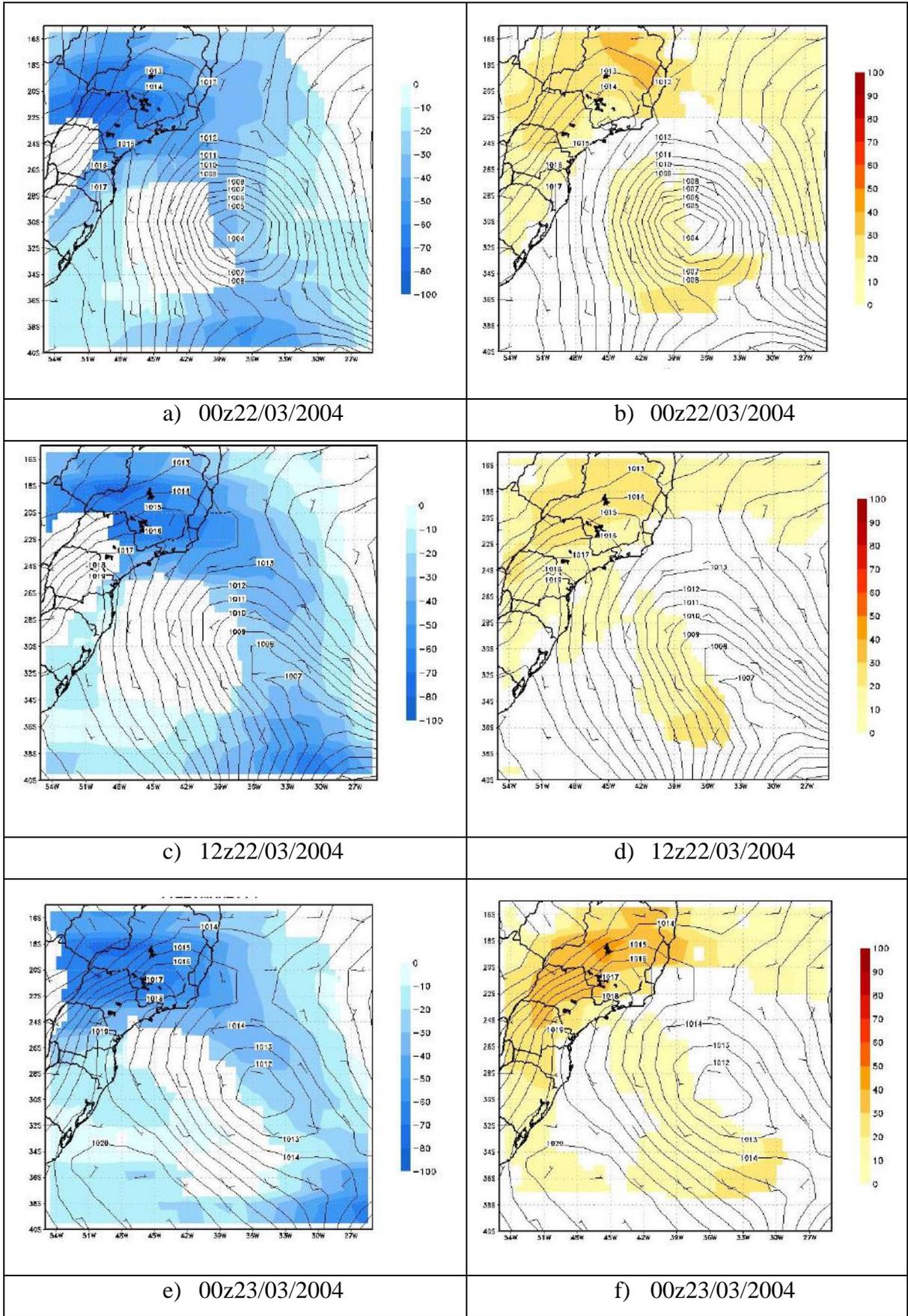
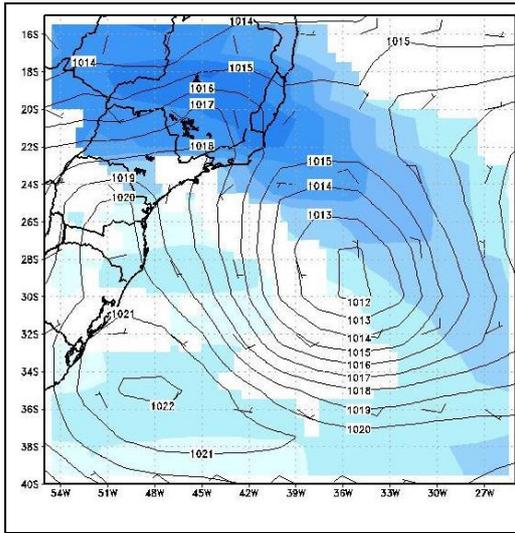


Figura 4.8 – Campos PNMM do NCEP com linhas pretas de isóbaras (hPa) e sombreado azul de vorticidade relativa ( $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) a 1000hPa.

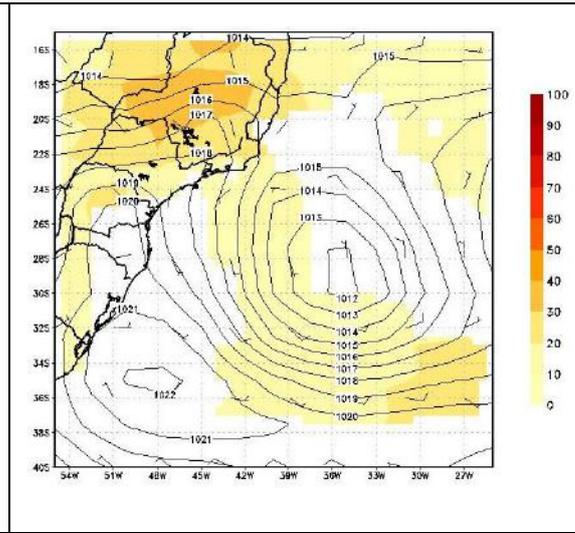
Utilizando o vento térmico, essa reanálise indicou resultados diferentes, pois apesar de formar ciclones nos mesmos instantes, abrangeu grandes áreas, com uma precisão inferior (Figura 4.9.a - n).

O valor de  $V_T$  identificado segunda a Figura 3.1 no ciclone Catarina, esteve presente em quase todo o período, começando a ser observada uma região quente na periferia do ciclone na imagem 00z de 23/03/2004, estando de forma mais contundente nos baixos níveis ( $-|V_T^L|$ ). Depois, foram identificados ambos os parâmetros em seu núcleo,  $-|V_T^L|$  e  $-|V_T^U|$  nos dias 25 e 26, o que demonstra a transição para uma base quente e em níveis superiores um núcleo frio, conforme indicado no diagrama de fase desenvolvido por Hart (2003) [Figura 4.9.a – n].

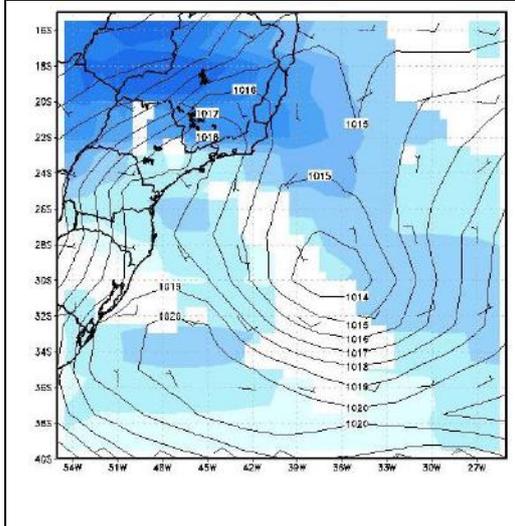




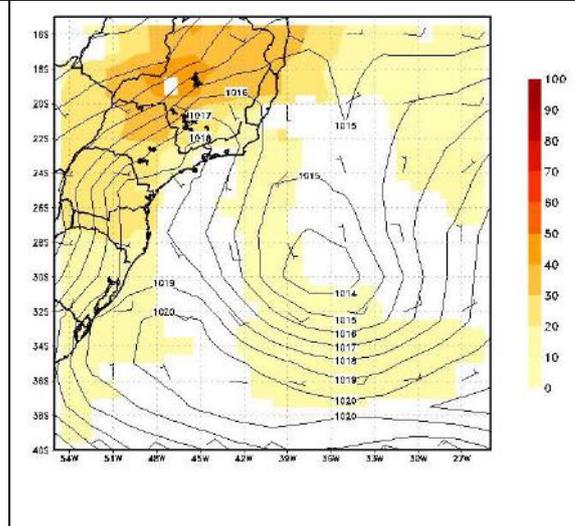
g) 12z23/03/2004



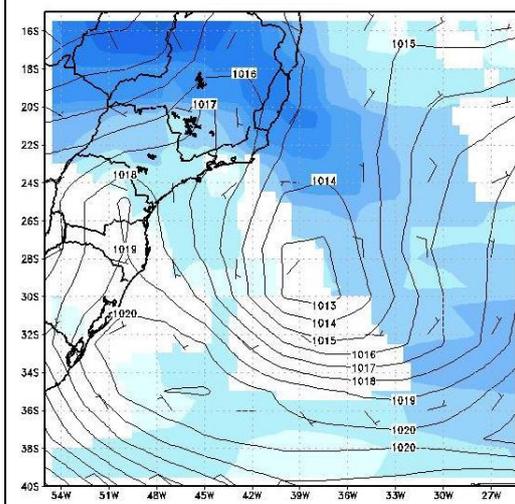
h) 12z23/03/2004



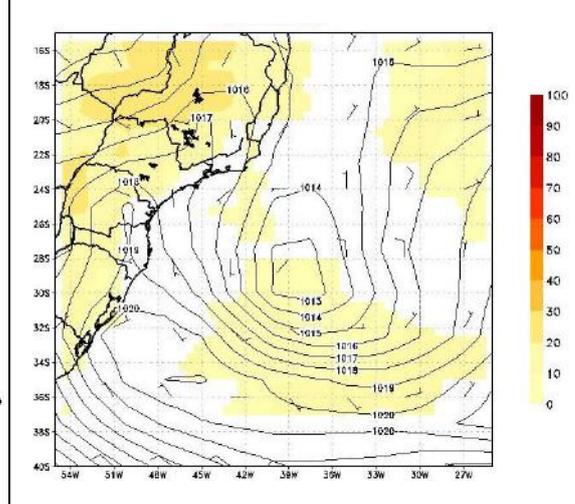
i) 00z24/03/2004



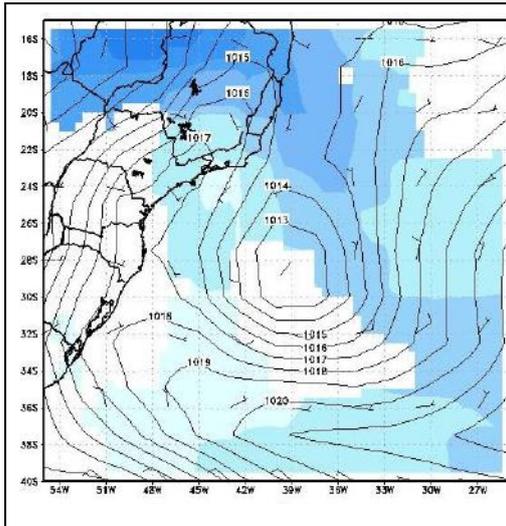
j) 00z24/03/2004



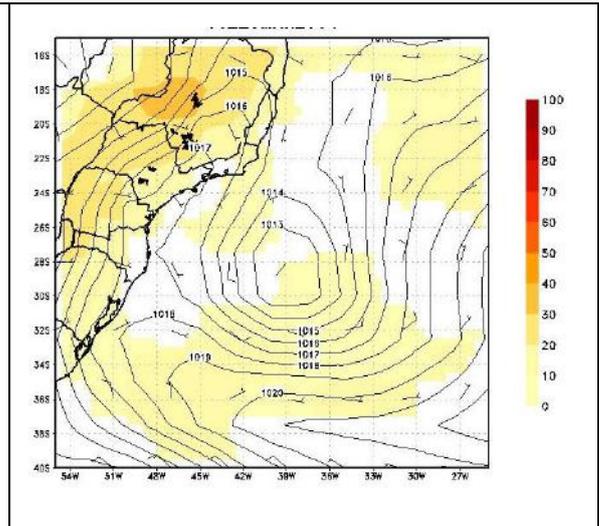
k) 12z24/03/2004



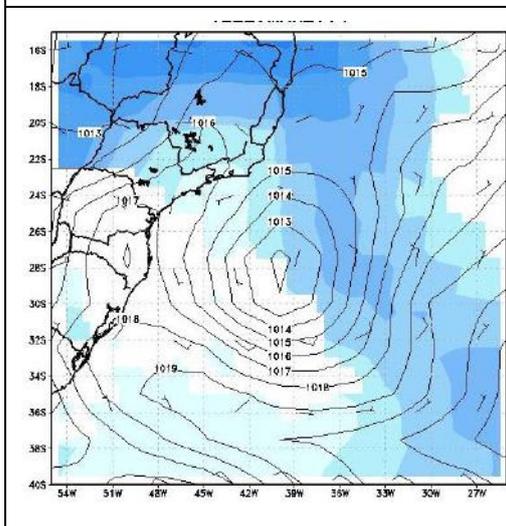
l) 12z24/03/2004



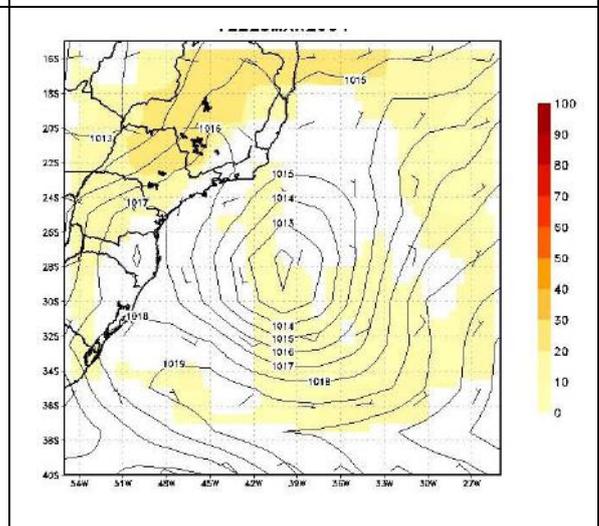
m) 00z25/03/2004



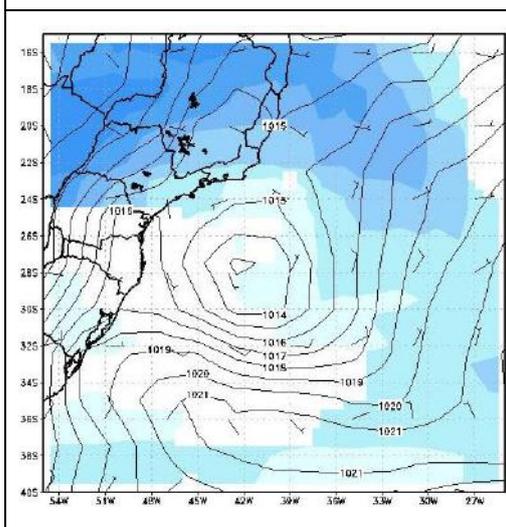
n) 00z25/03/2004



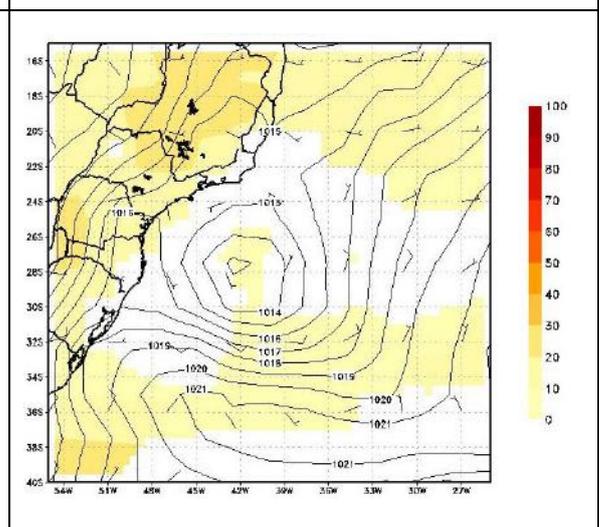
o) 12z25/03/2004



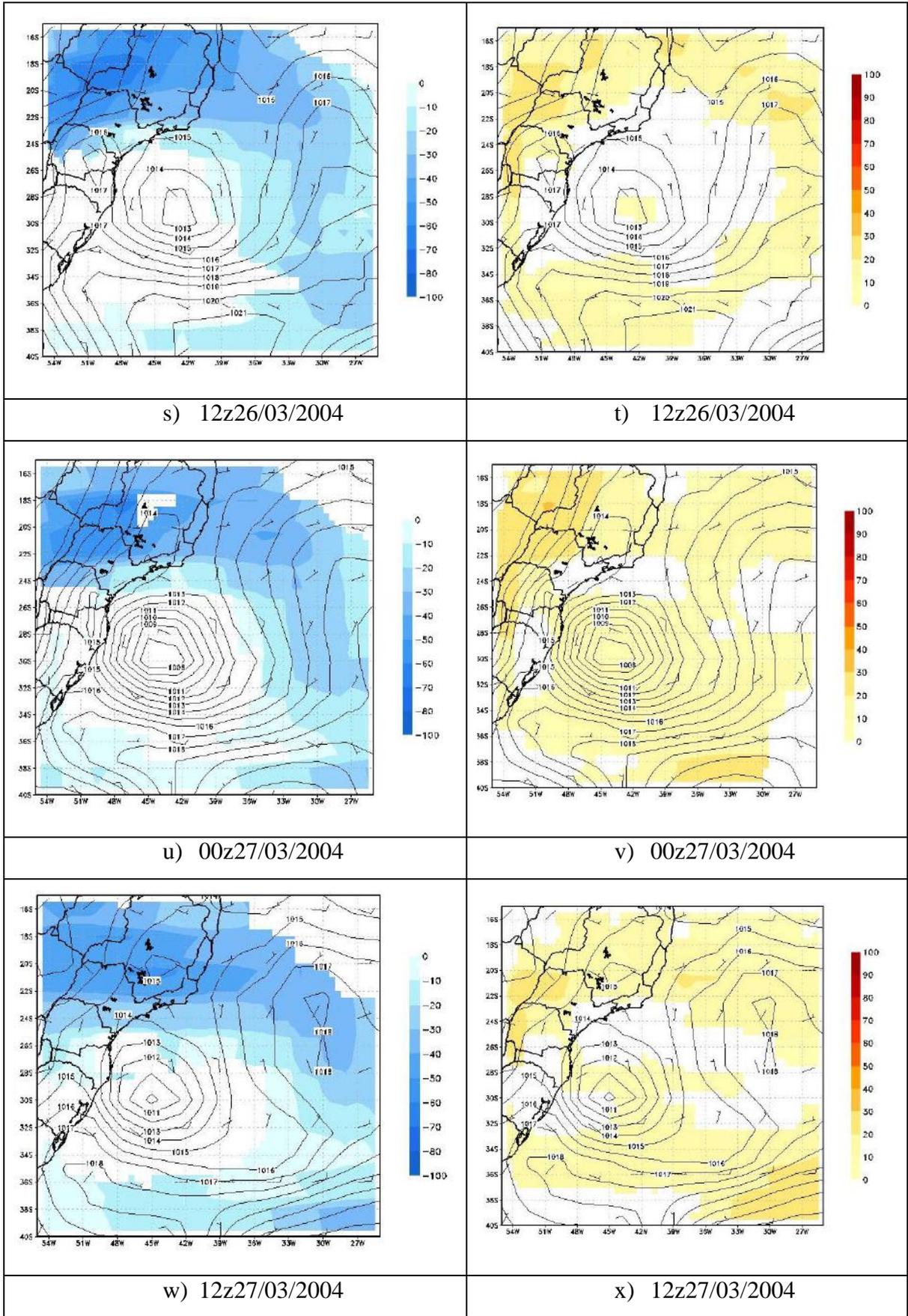
p) 12z25/03/2004



q) 00z26/03/2004



r) 00z26/03/2004



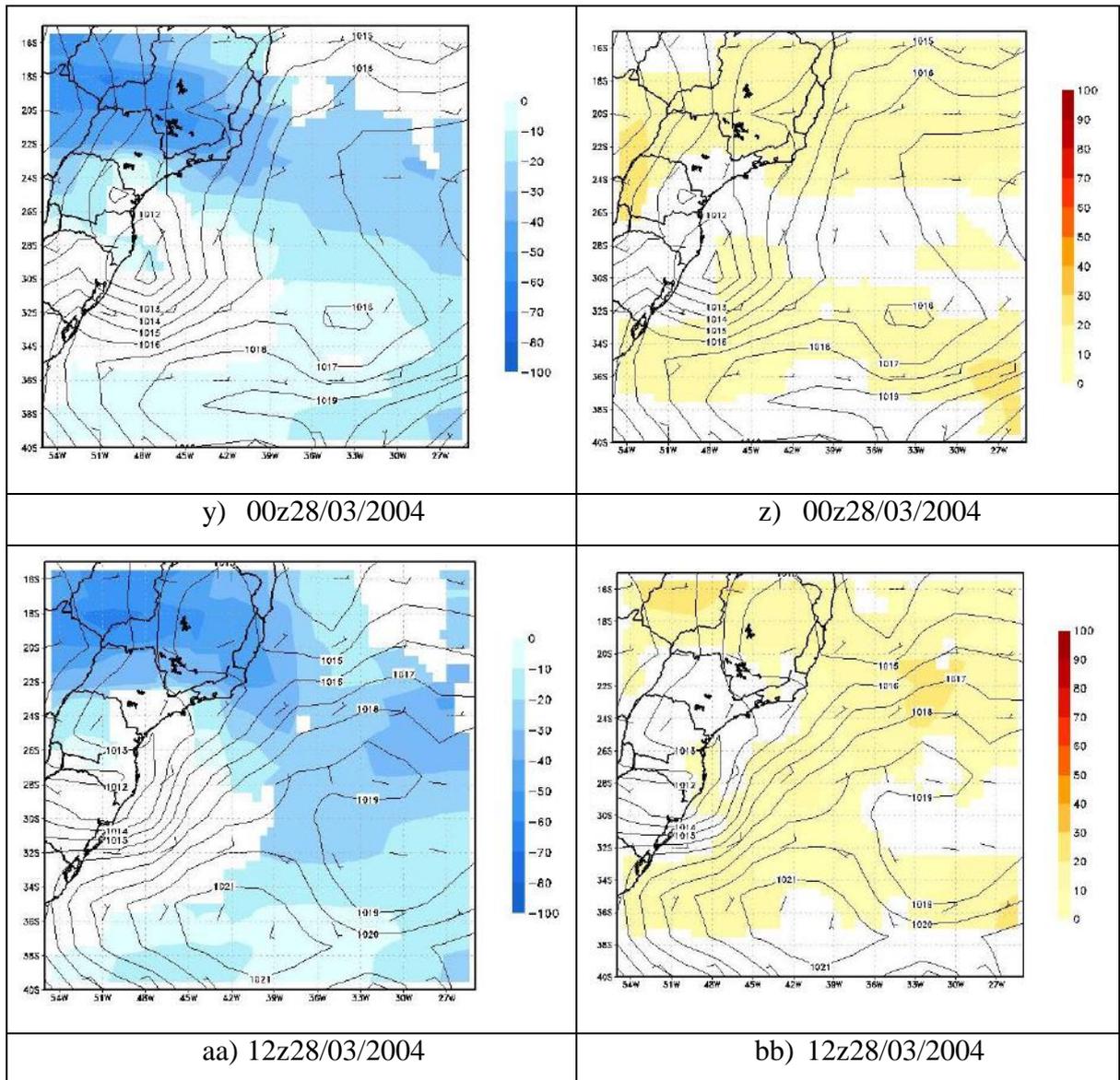
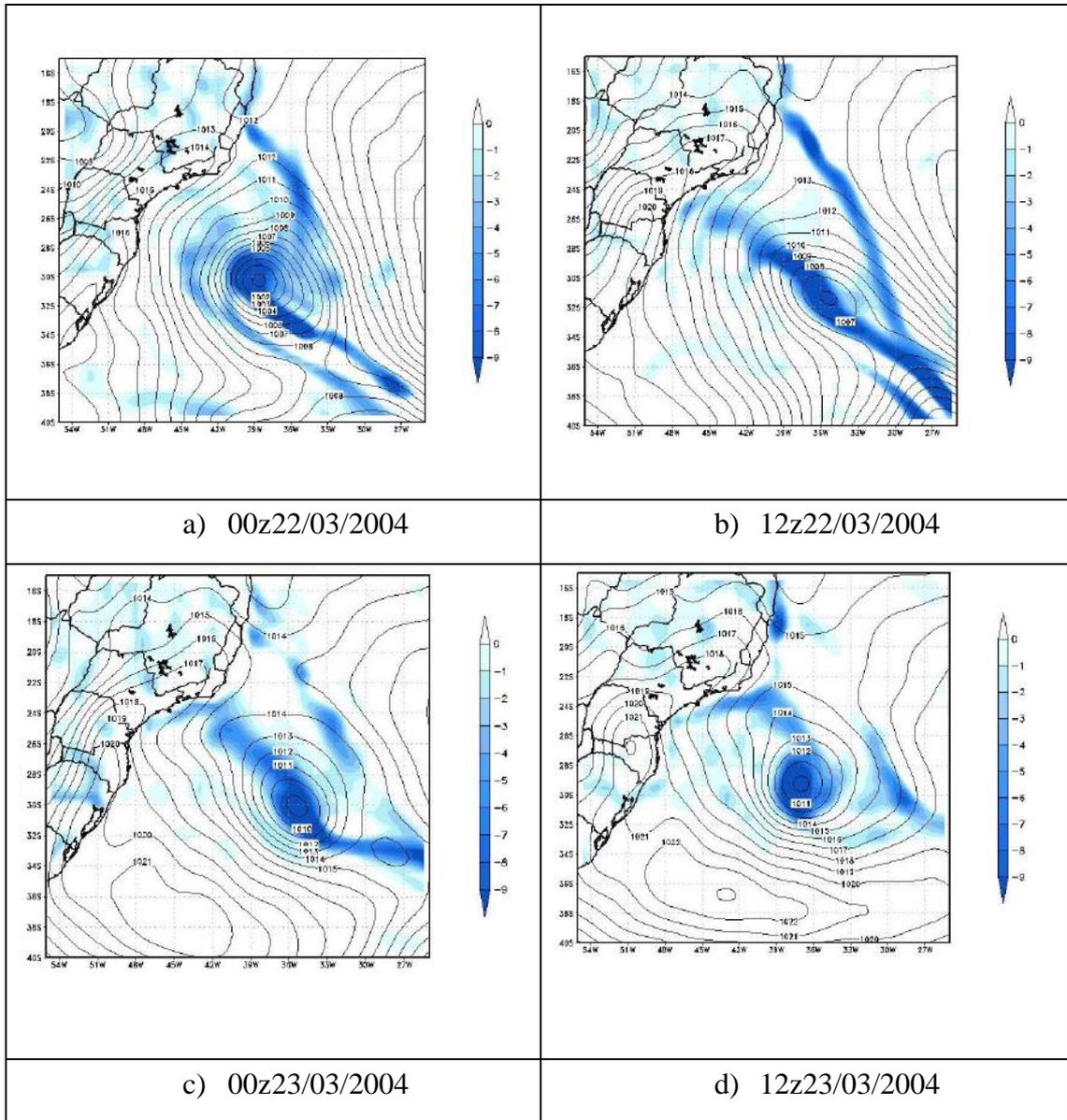


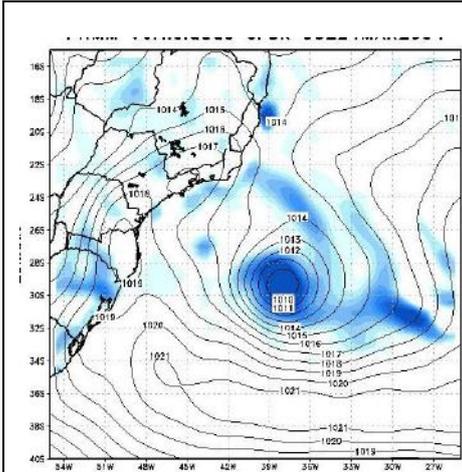
Figura 4.9 – Campos do NCEP com linhas pretas de isóbaras (hPa) a PNMM; e vento em barbelas (m/s) a 1000hPa; sombreado azul de vento térmico em altos níveis ( $-V_T^U$ ); e sombreado vermelho de vento térmico em baixos níveis ( $-V_T^L$ ).

#### 4.2.2 CFSR

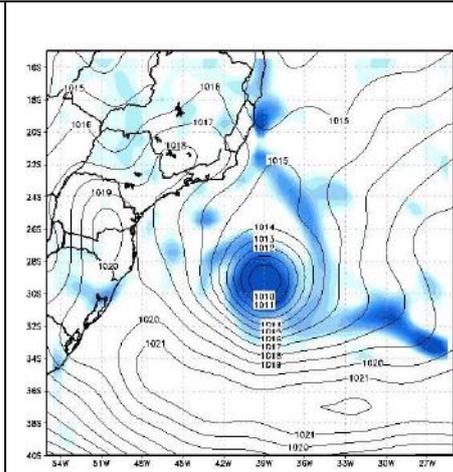
Com o CFSR, percebeu-se logo pelas primeiras imagens, uma maior concentração da vorticidade relativa nos núcleos de baixa pressão e uma resposta mais rápida à variação do gradiente de pressão. A vorticidade também atingiu valores menores com maior frequência, e os núcleos de baixa pressão apresentaram-se mais contundentes, podendo se destacar o fato dessas imagens, o ciclone não se dissipar as 12z do 22/03/2004, sendo mais nítido de

acompanhar o deslocamento do ciclone tanto pela vorticidade relativa quanto pelas isóbaras (Figura 4.10.a - n).

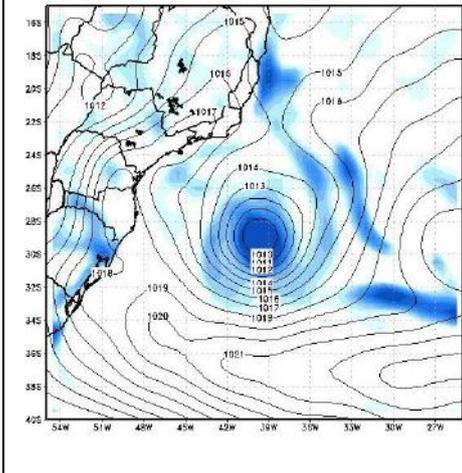




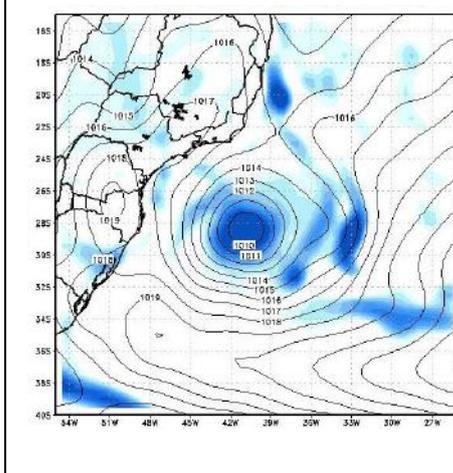
e) 00z24/03/2004



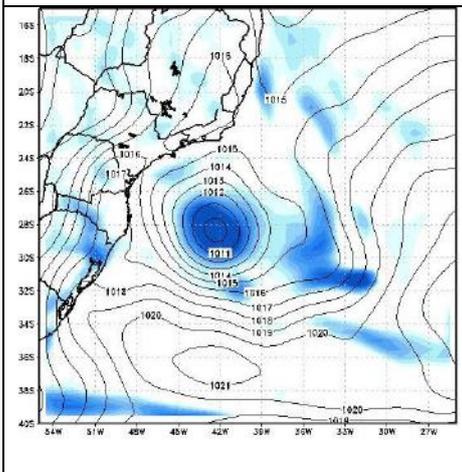
f) 12z24/03/2004



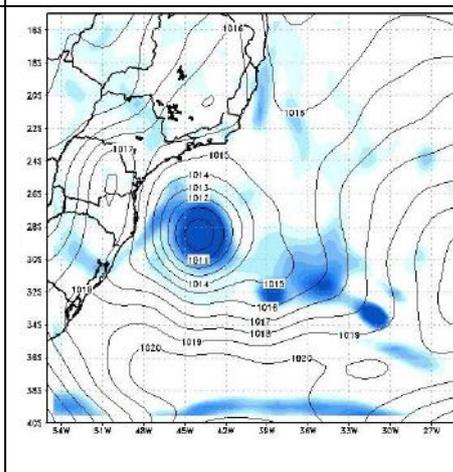
g) 03z25/03/2004



h) 12z25/03/2004



i) 00z26/03/2004



j) 12z26/03/2004

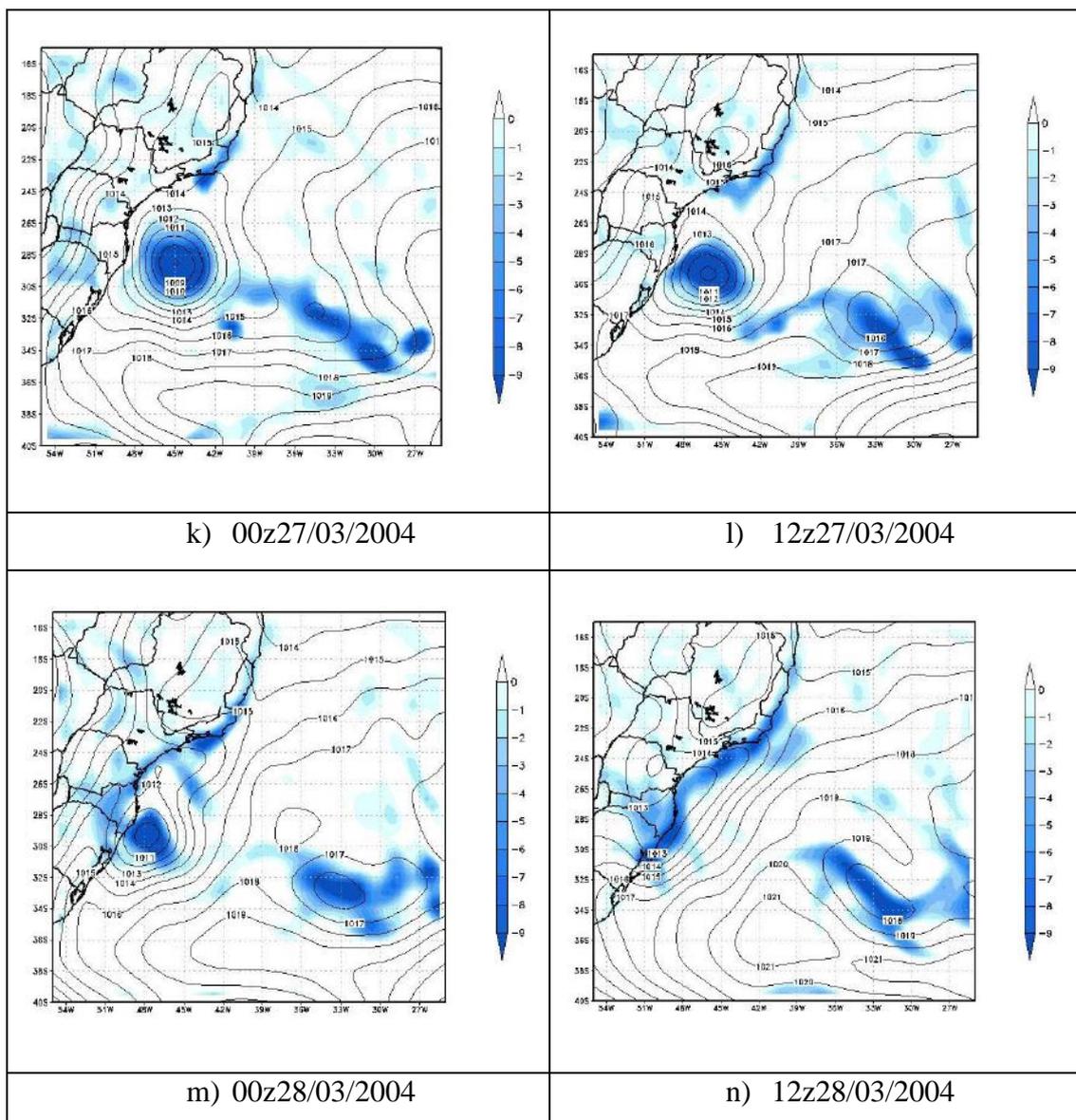
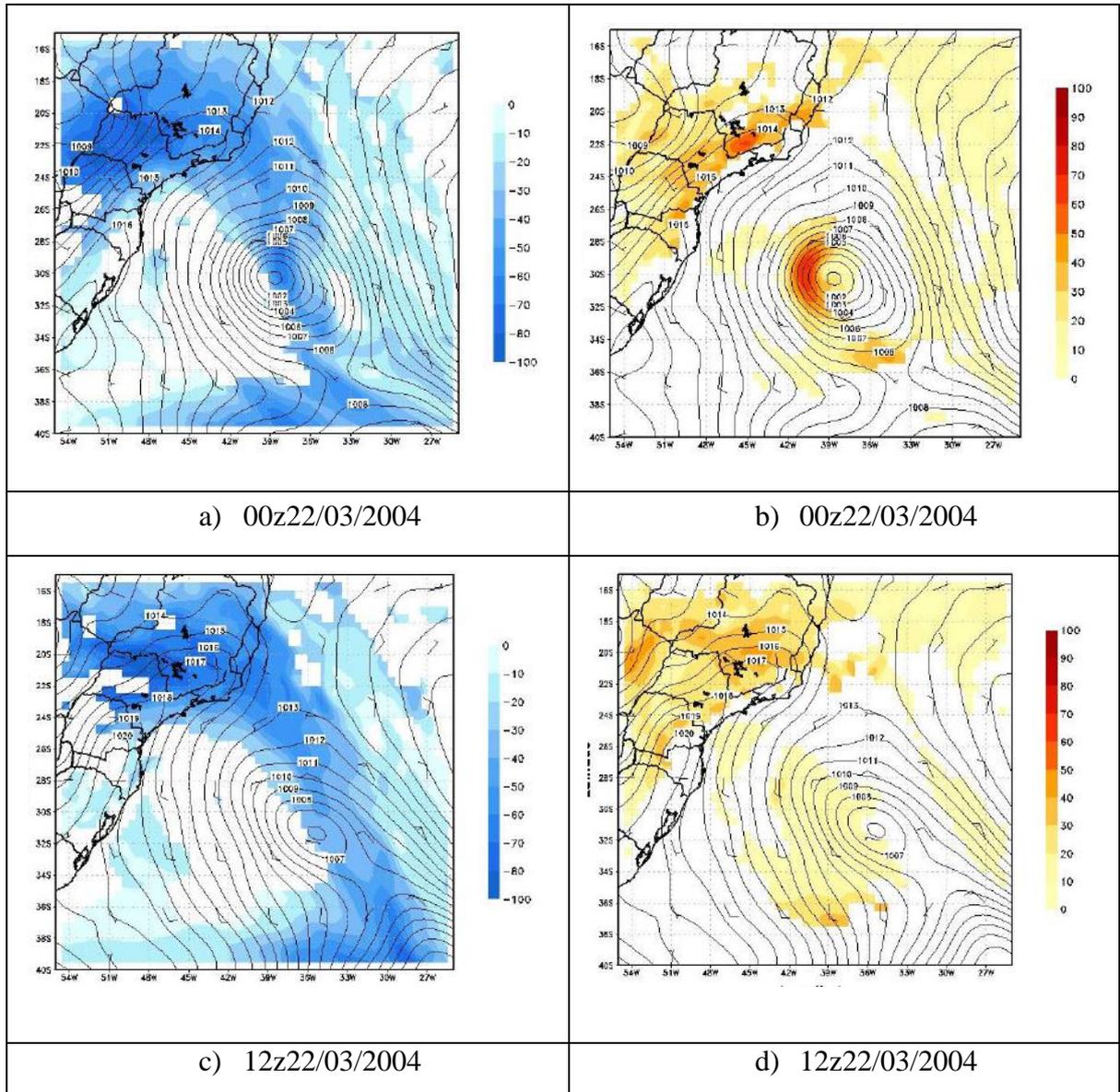
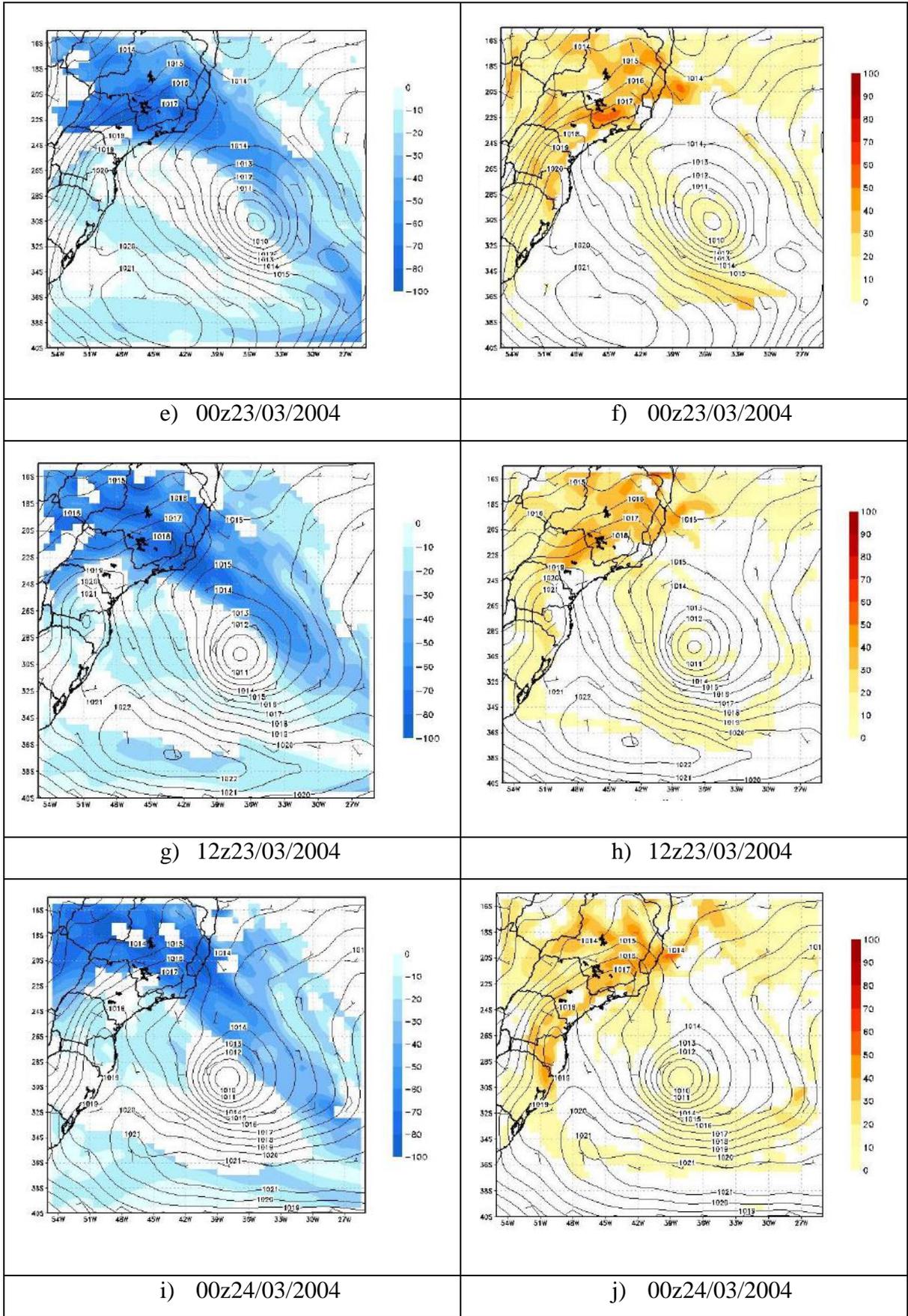


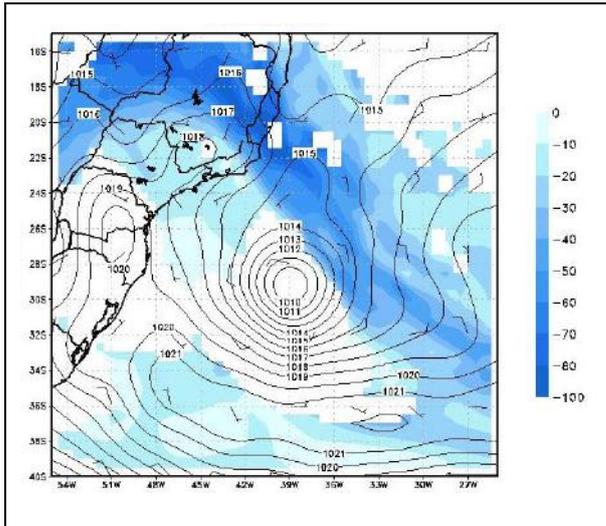
Figura 4.10 – Campos do CFSR com linhas pretas de isóbaras (hPa) a PNMM e sombreado azul de vorticidade relativa ( $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) a 1000hPa.

Na variável do vento térmico, também observou-se que os parâmetros apresentaram-se mais concentrados no CFSR e com maior gradiente de pressão. Nota-se que o núcleo quente em baixos níveis ficou mais presente durante todo o seu ciclo de vida, estando alguns momentos bem no centro do ciclone e em outros ao redor do núcleo. E o núcleo frio em altos níveis foi observado ao redor do ciclone Catarina, o seu núcleo frio em altitude no dia 26/03/2004 junto com o núcleo quente em baixos níveis, que confirmaram a formação de uma

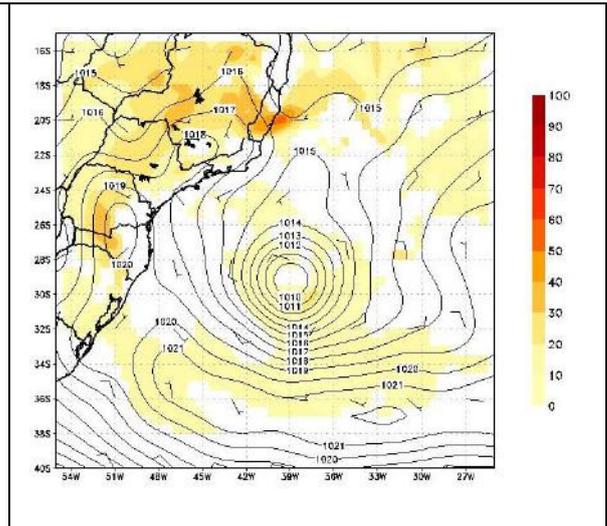
estrutura de subtropical ou híbrida (Figura 4.11.a - n), contrariando a denominação de furacão (ciclone Tropical). Este comportamento relacionou-se apenas aos ventos fortes (categoria 1) e ao olho formado.



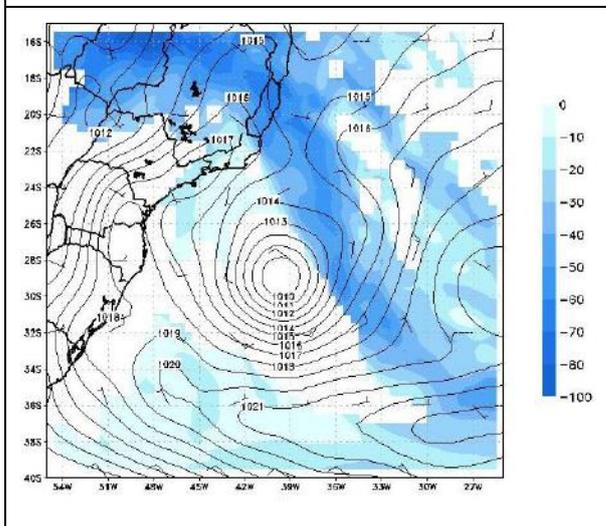




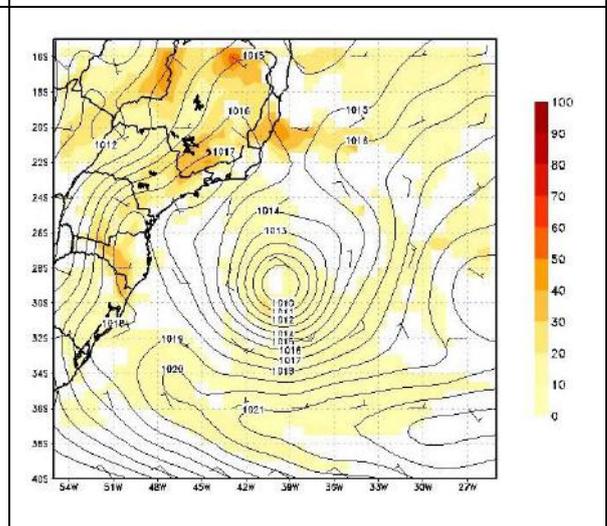
k) 12z24/03/2004



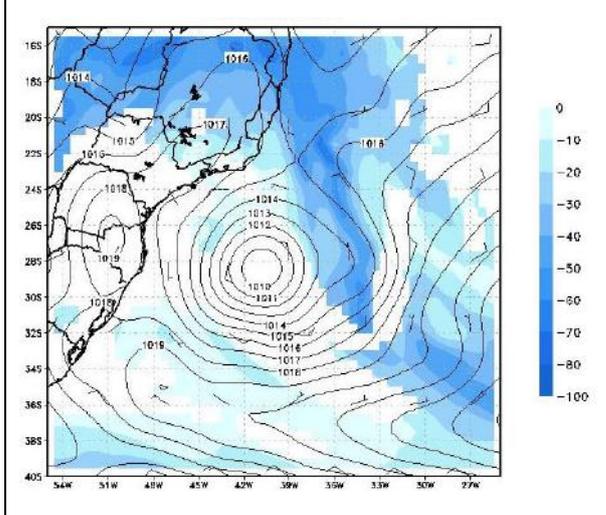
l) 12z24/03/2004



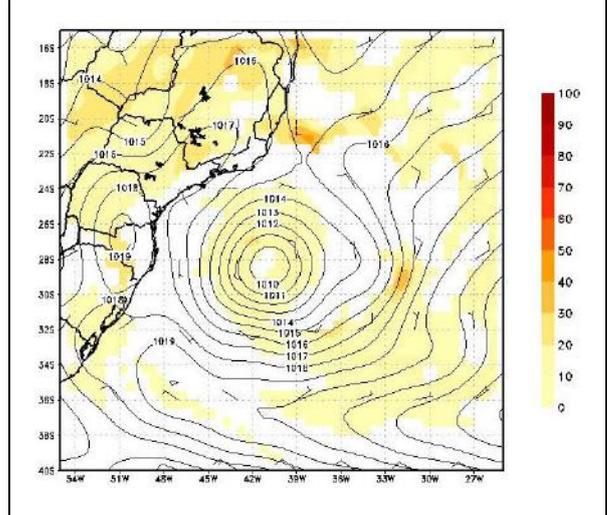
m) 00z25/03/2004



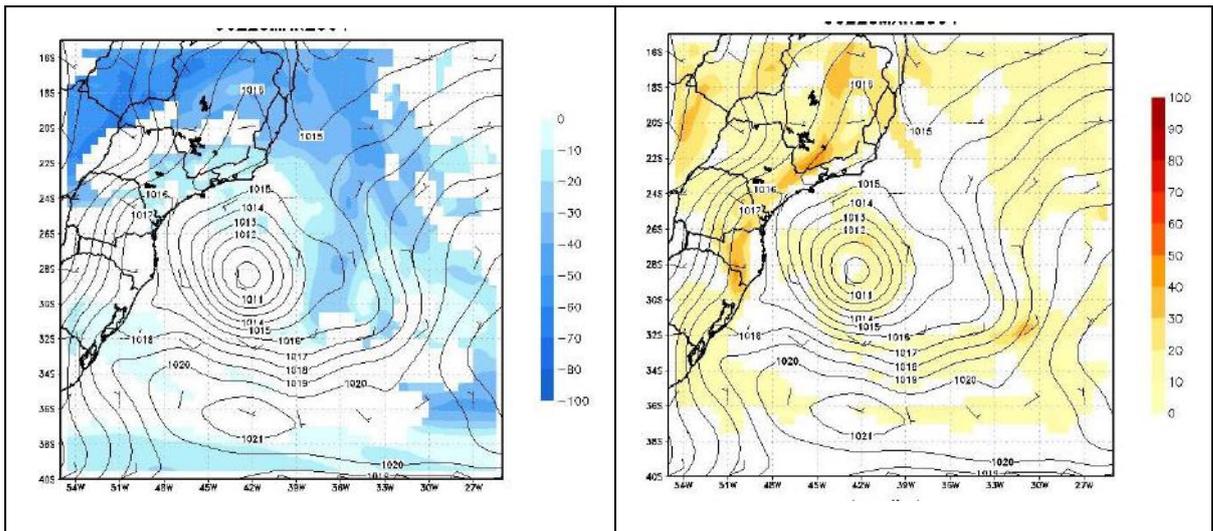
n) 00z25/03/2004



o) 12z25/03/2004

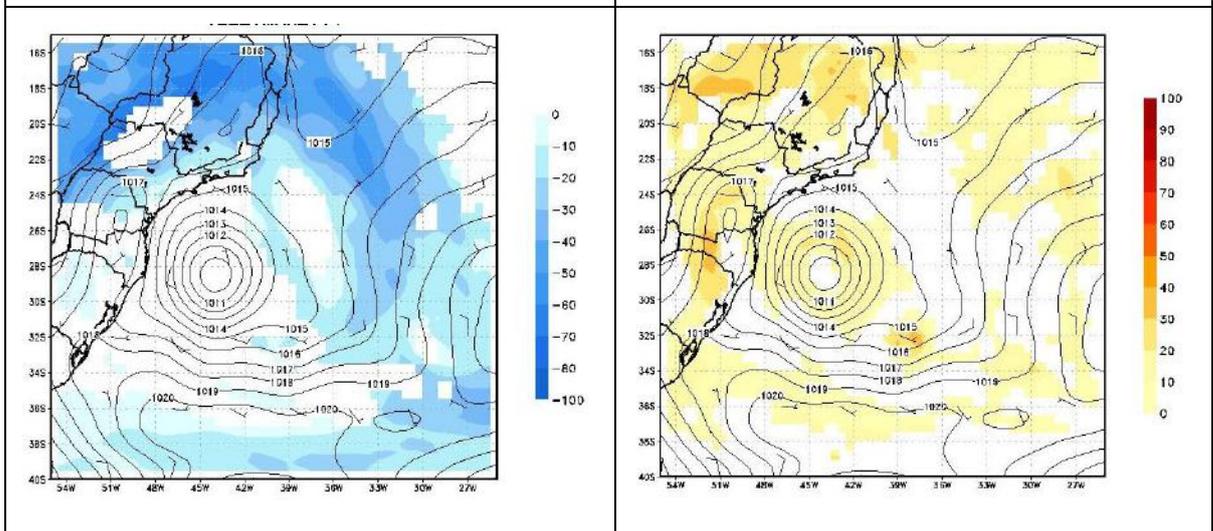


p) 12z25/03/2004



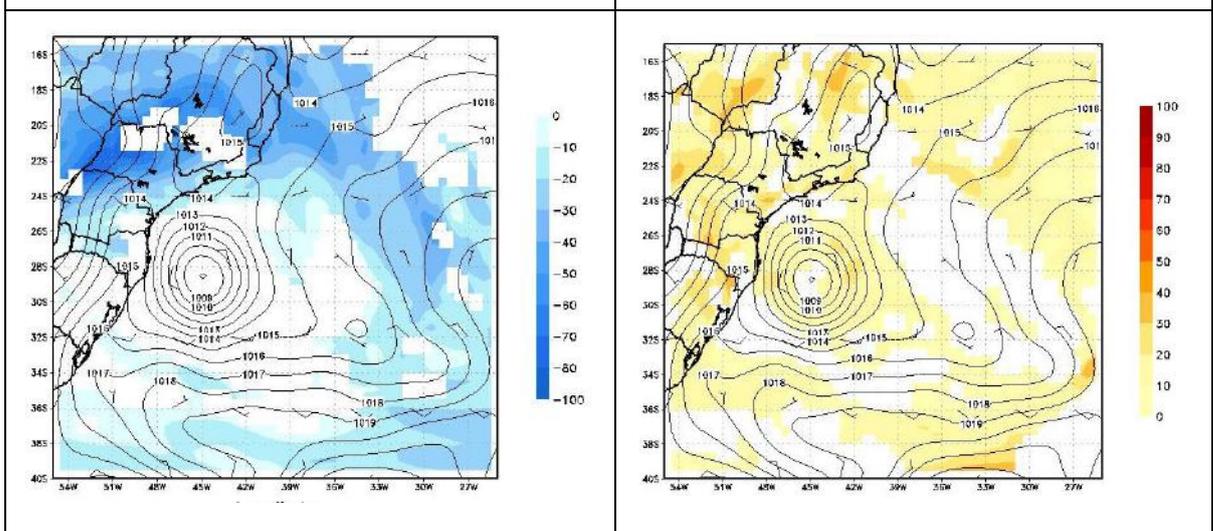
q) 00z26/03/2004

r) 00z26/03/2004



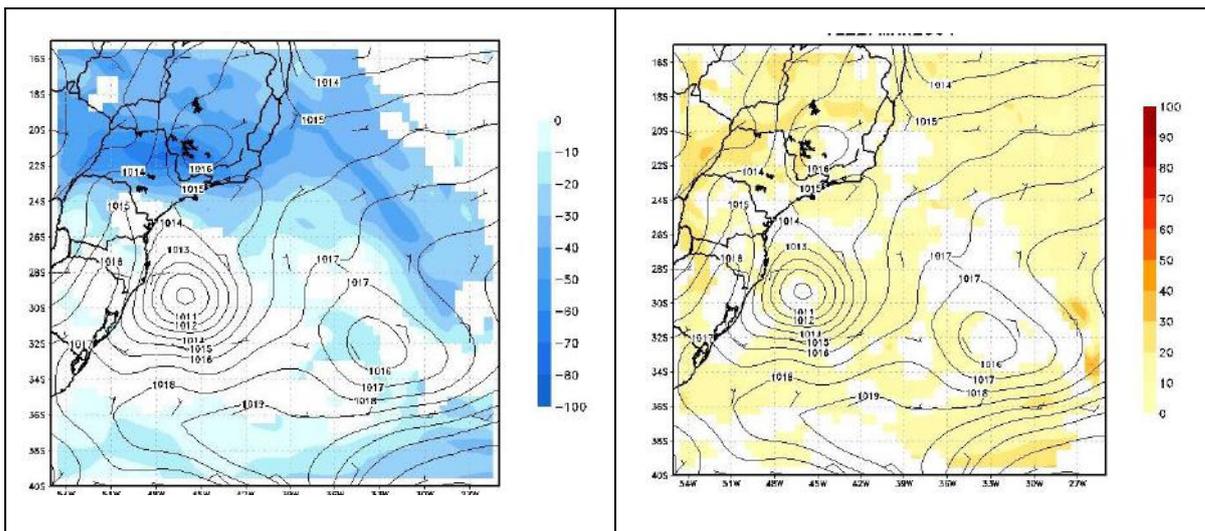
s) 12z26/03/2004

t) 12z26/03/2004



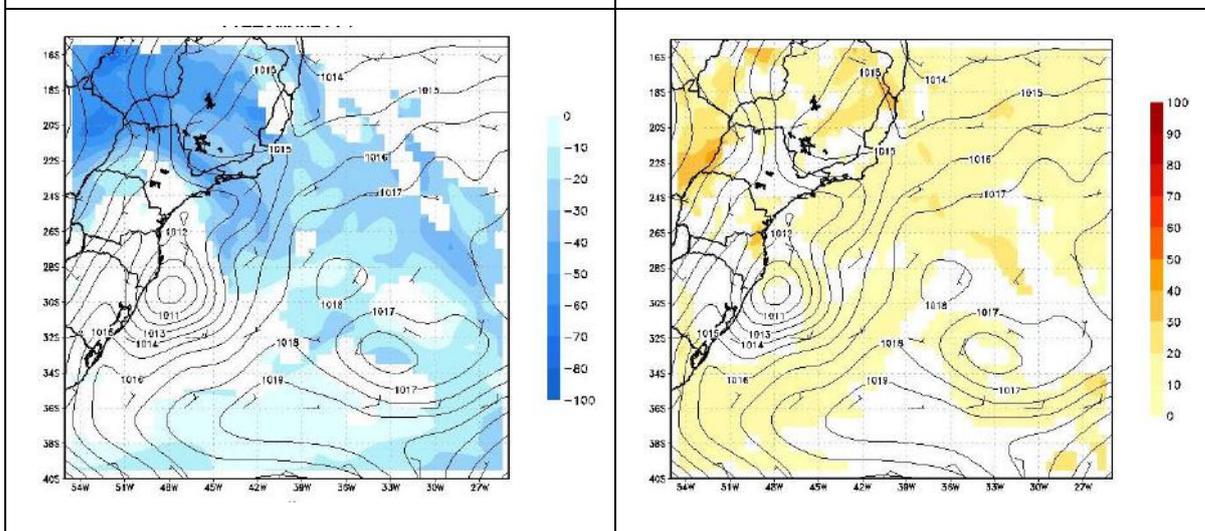
u) 00z27/03/2004

v) 00z27/03/2004



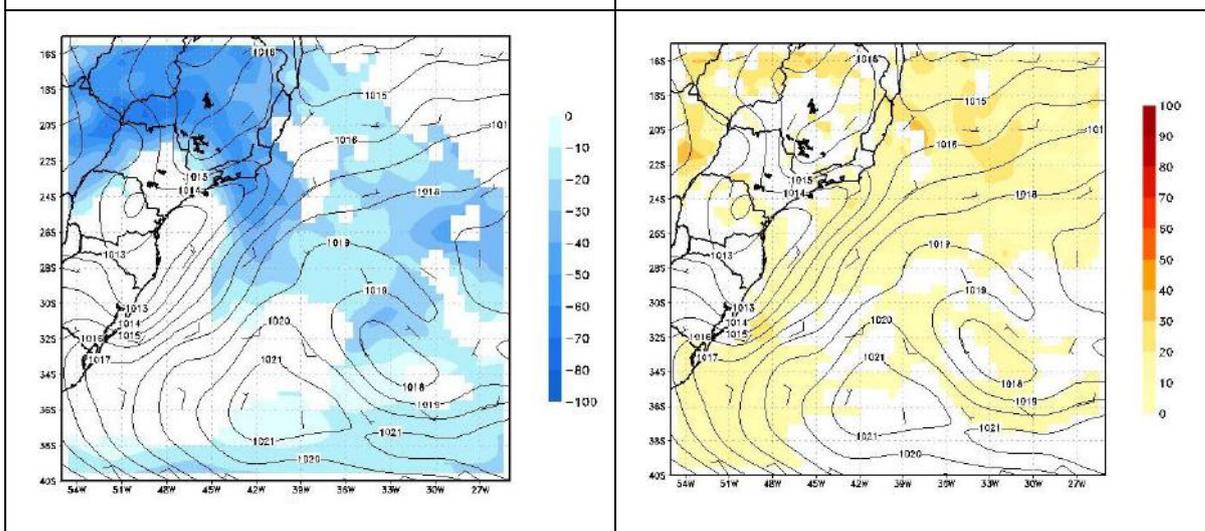
w) 12z27/03/2004

x) 12z27/03/2004



y) 00z28/03/2004

z) 00z28/03/2004



aa) 12z28/03/2004

bb) 12z28/03/2004

Figura 4.11 – Campos do CFSR com linhas pretas de isóbaras (hPa) a PNMM; e vento em barbelas (m/s) a 1000hPa; sombreado azul de vento térmico em altos níveis ( $-V_T^U$ ); e sombreado vermelho de vento térmico em baixos níveis ( $-V_T^L$ ).

## 5 Conclusão

Nesse trabalho pôde se encontrar novas formas de estudar o método de identificação dos ciclones. Com a avaliação realizada pelas reanálises CFSR e NCEP do período 2000 a 2005, foram encontrados valores acima da média de outras literaturas para o mesmo local, e uma variação distinta do total sazonal.

O melhor rastreador de ciclones não foi a isóbara em superfície e sim a vorticidade, que, mesmo com a baixa resolução do NCEP, mostrou-se eficaz.

Ambas as reanálises tiveram um comportamento semelhante na contagem dos ciclones e no perfil termodinâmico avaliado pelo  $V_T$ , tanto anual quanto sazonalmente, com máximos sazonais no verão e decréscimo no ano de 2003, apesar da significativa discordância do total apresentado por cada uma. Ou seja, a ocorrência de não convencionais é muito mais comum do que se supunha, mas é necessário ter mais critério ao se denominar subtropical.

A região de estudo do oceano Atlântico Sul (050°W-030°W e 35°S-20°S) mostrou ser uma região com capacidade para formação de ciclones não convencionais, identificados pelas duas reanálises. Fato interessante, uma vez que em Gan e Rao (1991), os máximos ciclogênicos mais ao sul apresentaram características extremamente baroclínicas. Enquanto que Reboita (2008) justificou a região 1 por algoritmo de localização cuja o parâmetro era vorticidade relativa, e os enquadrrou dentro dos ciclones convencionais (tropical e extratropical).

Sugere-se que as máximas ocorrências no verão e primavera no oceano Atlântico Sul na Região 1 de todos os ciclones, referem-se a influência do escoamento de Noroeste quente e úmido, caracterizado pela ZCAS/ZCOU. Por outro lado, a máxima ocorrência de ciclones não convencionais (híbridos/subtropicais/aprisionamento quente) durante o verão e outono, relacionam se com a alta TSM e sua inércia térmica.

Para o estudo de caso, verificou-se em ambas as reanálises que o Catarina não indicou ser ciclone tropical, apesar do vento forte e da presença do olho.

Quanto à duração, o CFSR apresentou 75% de casos com menos de 24 horas contra 51% do NCEP o que possivelmente se deve ao acoplamento do modelo oceânico. As durações

mais curtas (6 – 12 h) também foram mais significativas no CFSR, comparando a dependência da resolução espacial e temporal, nas climatologias sobre rastreamento de sistemas.

### **5.1 Sugestões de trabalhos futuros**

Relacionar casos não convencionais com El niño/La niña, ZCAS/ZOU e aumentar a série temporal.

Caracterizar o padrão de simetria (parâmetro B), enfatizando as diferenças entre os casos não convencionais.

## 6 Referência Bibliográfica

- DOTY, B. E.; Kinter, J. L. **Geophysical Data Analysis and Visualization using GrADS. Visualization Techniques in Space and Atmospheric Sciences**, eds. E.P. Szuszcwicz and J.H. Bredekamp. (NASA, Washington, D.C.), 209-219, 1995.
- DUTRA, L. M. M. **Ciclones subtropicais sobre o Atlântico Sul: análise da estrutura dinâmica de eventos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – IAG-USP, 144 pp. São Paulo, 2012.
- EVANS, J.L. e BRAUN, A. A Climatology of Subtropical Cyclones in the South Atlantic. **Journal Climate**, 25, 7328–7340. 2012.
- GAN, M. A. e RAO, V. B. Surface Cyclogenesis over South America. **Monthly Weather Review**, 119, 1293–1302. 1991.
- GOZZO, L. F. **Simulação da influência dos fluxos de superfície em ciclones na costa leste do sul do Brasil**. 2010. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – IAG-USP, 121 pp. 2010.
- GOZZO, L. F.; ROCHA, R. P.; REBOITA M. S. e SUGAHARA, S. Subtropical Cyclones over the Southwestern South Atlantic: Climatological Aspects and Case Study. **Journal Climate**, 27, 8543–8562. 2014.
- GUISHARD, M. P., 2006: **Atlantic subtropical storms: Climatology and characteristics**. Tese (Doutorado em Meteorologia), Dept. of Meteorology, The Pennsylvania State University, University Park, PA, 158 pp.
- GUISHARD, M. P.; EVANS, J. L. e HART, R. E. Atlantic Subtropical Storms. Part II: Climatology. **Journal of Climate**, 22, 3574-3594. 2009.
- HART, R. E. A cyclone phase space derived from thermal wind and thermal asymmetry. **Monthly Weather Review**, 131, 585–616. 2003.
- HOLTON, J. R. **An Introduction to Dynamic Meteorology**. 4th ed. New York: Elsevier Academic Press, 2004. 535 p
- JARVINEN, B. R.; NEUMANN, C. J.; DAVIS, M. A. S. A Tropical Cyclone Data Type for the North Atlantic Basin, 1886-1983: Contents, Limitations, and Users. **NOAA Tech. Memo**. NWS NHC 22, 21 pp, 1984
- MATHIAS, R. S. B. **Análise e classificação de ciclones utilizando diagramas de fase: Conceitos e aplicação em previsão de tempo operacional**. 2012. Dissertação. (Mestrado em Meteorologia) – Departamento de Meteorologia. Instituto de Geociencias. UFRJ. 135p. Rio

de Janeiro, 2012.

MATHIAS, R. S. B.; PALMEIRA, A. C. P. A. Análise da Estrutura Térmica de duas Tempestades Subtropicais sobre o Atlântico Sul durante o verão de 2015. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia XIX. **Anais...** João Pessoa. 2016.

McTAGGART-COWAN, R.; BOSART, L.; DAVIS, C. A.; ATALLAH, E. H.; GYAKUM, J. R.; EMANUEL, K. A. Analysis of Hurricane Catarina (2004). **Monthly Weather Review**, v.134, p. 3029-3053, 2006.

REBOITA, M. S. **Ciclones Extratropicais sobre o Atlântico Sul: Simulação Climática e Experimentos de Sensibilidade**. 2008. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG–USP. São Paulo, 2008.

REBOITA, M. S.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. e SUGAHARA, S. South Atlantic Ocean Cyclogenesis Climatology Simulated by Regional Climate Model (RegCM3). **Climate Dynamics**, 35, 1331-1347. 2010.

SANDERS, F.; GYAKUM, J. R. Synoptic-Dynamic Climatology of the “Bomb”. **Monthly Weather Review**, v.108, p.1589-1606. 1980.

SEBA, W. M. P. S. E; MATHIAS, R. S. B.; ROMÃO, F. S. C. Ciclones Subtropicais. **Revista Marítima Brasileira (RMB)**, v. 136, n. 07/09, p. 128-131, julho de 2016.

STULL, R. B. **Meteorology for Scientists and Engineers**. 2a. ed., Brooks/Cole, Austrália, 502 p. 2000.

VEIGA, J. A. P.; PEZZA, A. B.; SIMMONDS, I. I. e SILVA DIAS, P. L. An analysis of the environmental energetics associated with the transition of the first South Atlantic hurricane. **Geophysical Research Letters**, 35(15). 2008.