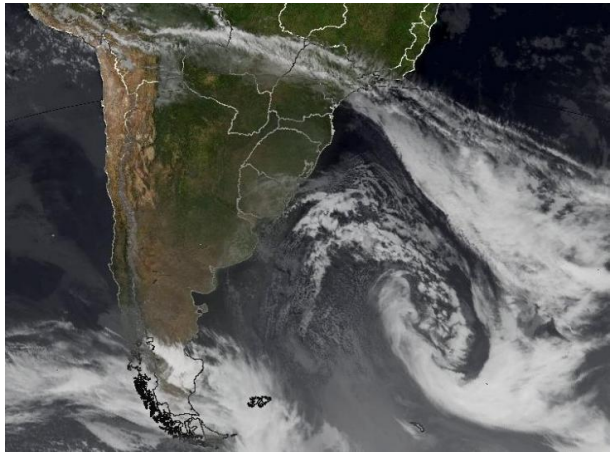
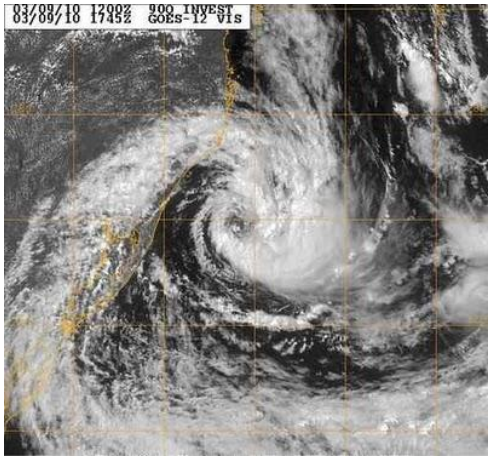
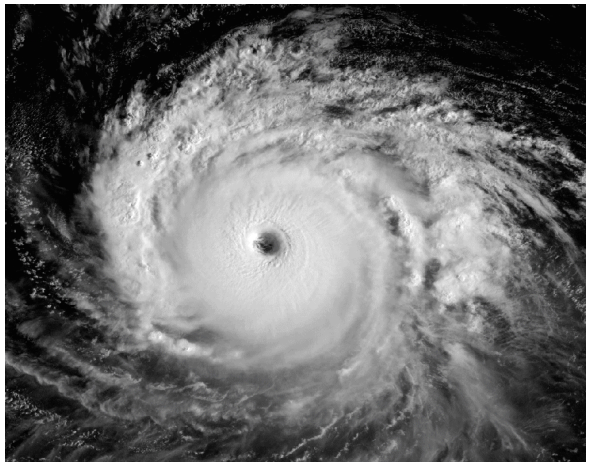
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
Departamento de Meteorologia
Disciplina Laboratório de Meteorologia Sinótica – ACA0433
Docente: Rita Ynoue

Ciclones tropicais, extratropicais e subtropicais







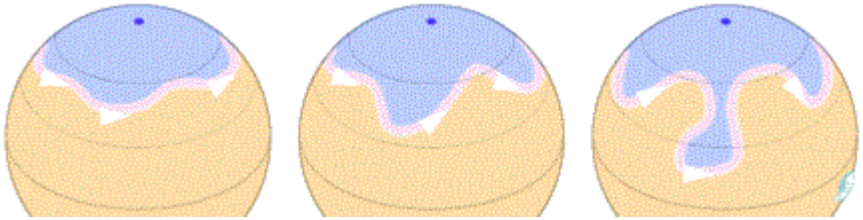
Luiz Felippe Gozzo

Ciclogênese extratropical

- Formação:

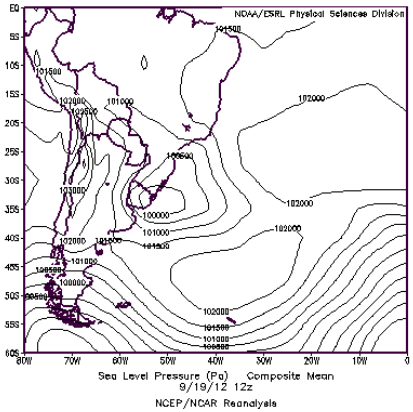
Equação do desenvolvimento de Sutcliffe:

$$\frac{\partial Q_0}{\partial t} = -(\vec{v}\cdot\nabla Q)_p - \frac{R}{f}\nabla_p^2 \int_p^{p_0} (A_T + S + H)\, d\ln p$$

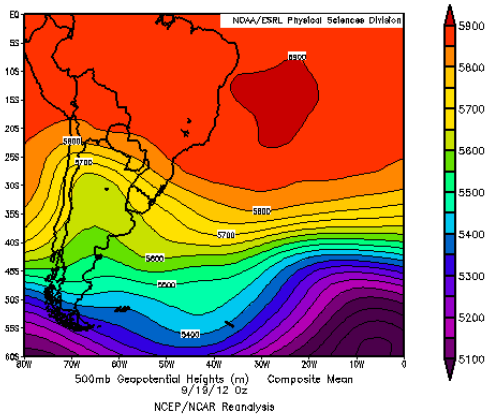


- Instabilidade baroclínica

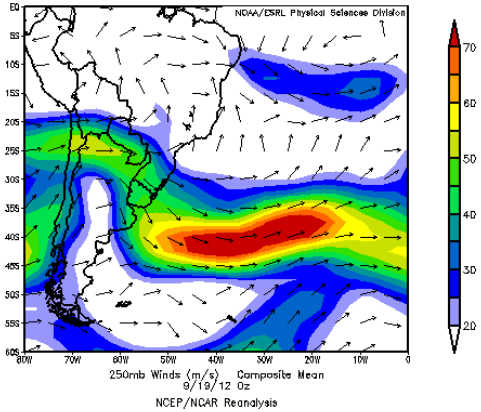
Pressão ao nível do mar



Altura geopotencial em 500 hPa



Corrente de jato em 250 hPa

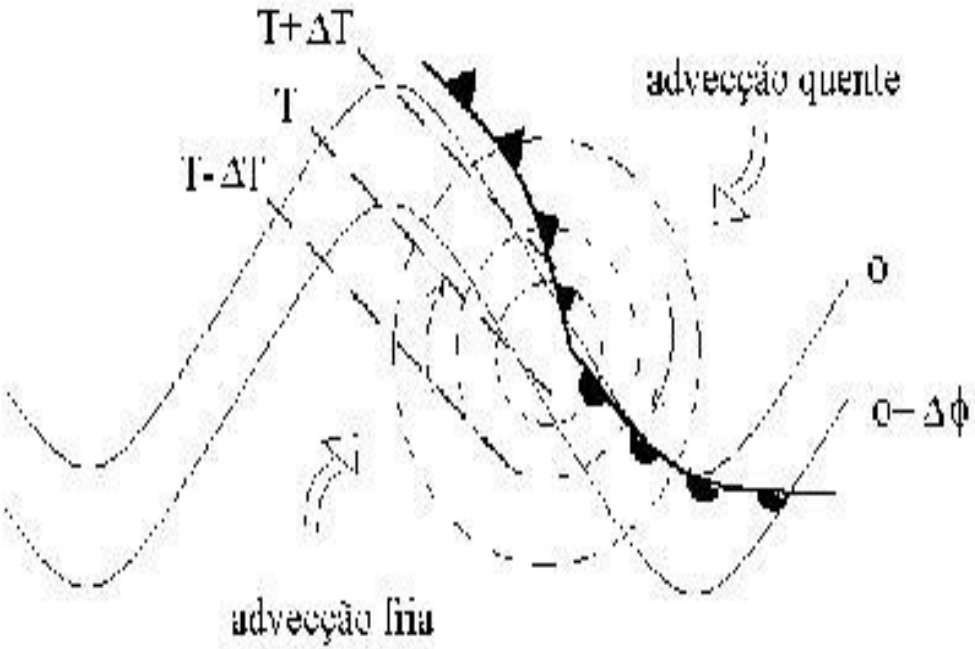


(NCEP, 19/09/2012, 00Z)

Ciclogênese extratropical

- Intensificação: advecção de temperatura

$$\frac{\partial Q_0}{\partial t} = -(\vec{v} \cdot \nabla Q)_p - \frac{R}{f} \nabla_p^2 \int_p^{p_0} (A_T + S + H)\, d \ln p$$



Ciclogênese extratropical

- Intensificação: termo de estabilidade

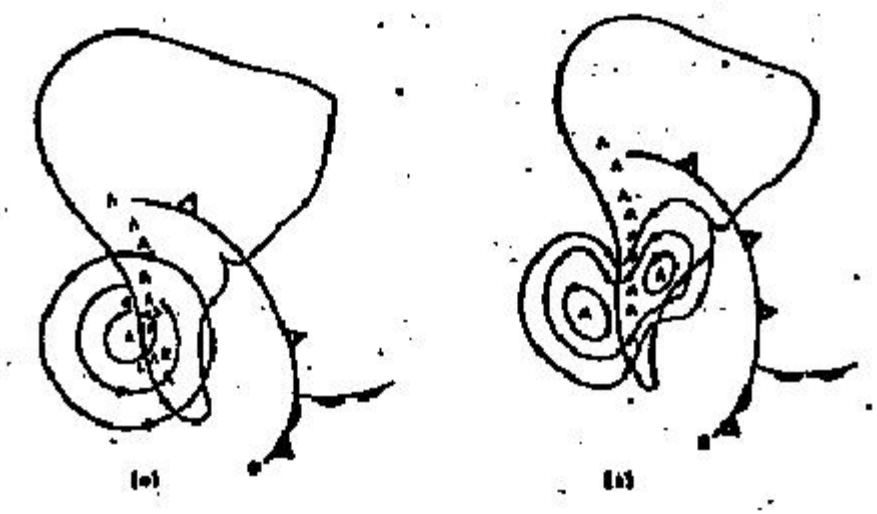
$$\frac{\partial Q_0}{\partial t} = -(\vec{v} \cdot \nabla Q)_p - \frac{R}{f} \nabla_p^2 \int_p^{p_0} (A_T + S + H)\, d\ln p$$

$$S = -\omega \left(\frac{\partial T}{\partial p} - \frac{1}{\rho C_p} \right)$$

se houver movimento ascendente; favorável para anticiclogênese

se houver movimento descendente; favorável para ciclogênese

Exemplo prático da atuação do termo de estabilidade: anticiclone cruzando os Andes



Ciclogênese extratropical

- Intensificação: aquecimento diabático

$$\frac{\partial Q_0}{\partial t} = -\left(\vec{v} \cdot \nabla Q\right)_p - \frac{R}{f} \nabla_p^2 \int_p^{p_0} \left(A_T + S + H\right) d \ln p$$

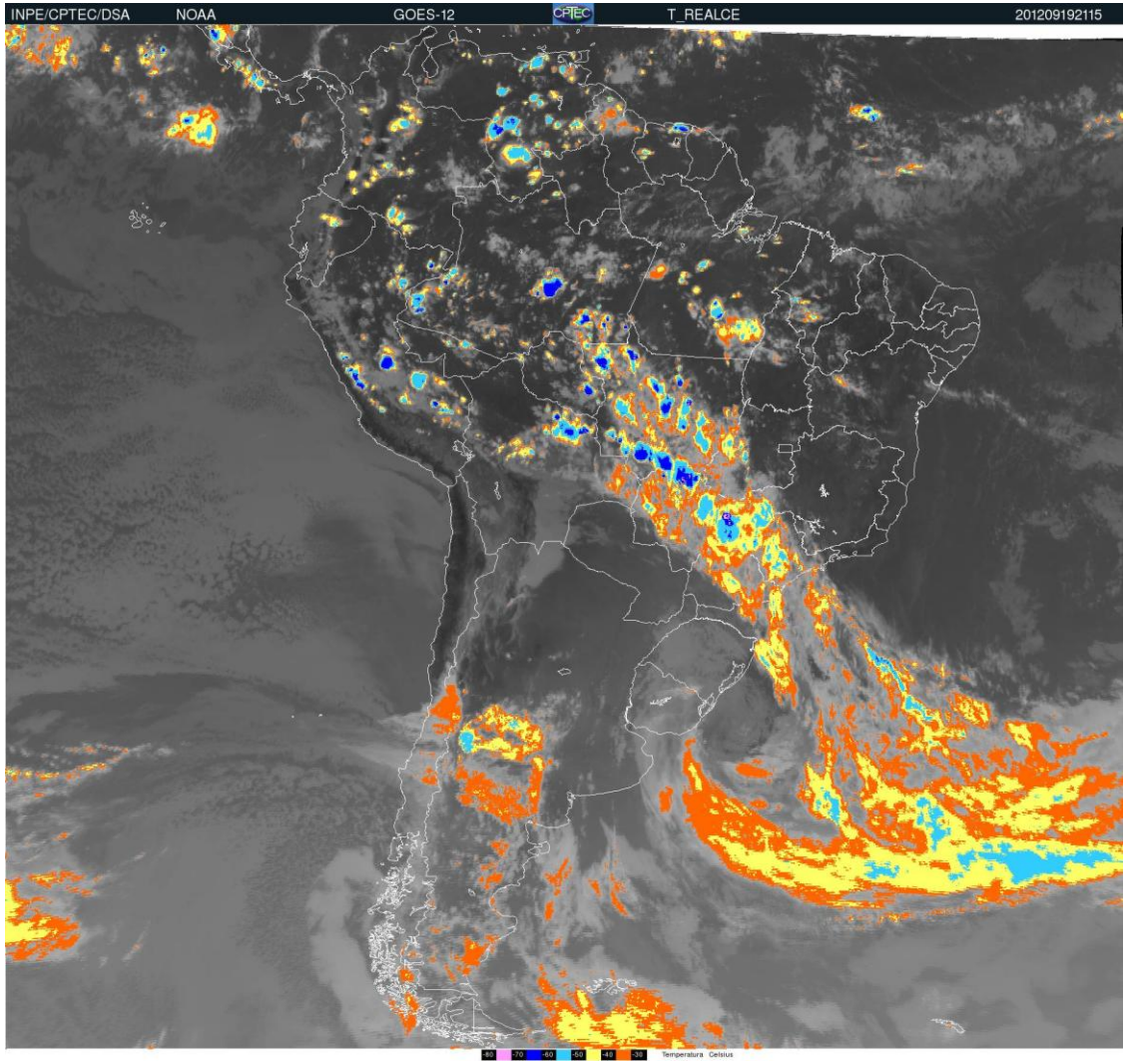
- Processos radiativos;

- Fluxo superficiais de calor sensível (ex: baixa do Chaco) e latente (ex: ciclones-bomba sobre o oceano);

- Liberação de calor latente por convecção:

  - Aquecimento da coluna (efeito direto);
  - Aquecimento por compressão adiabática (efeito indireto);
  - Instabilização mais rápida, e de ondas mais curtas (teoria baroclínica)

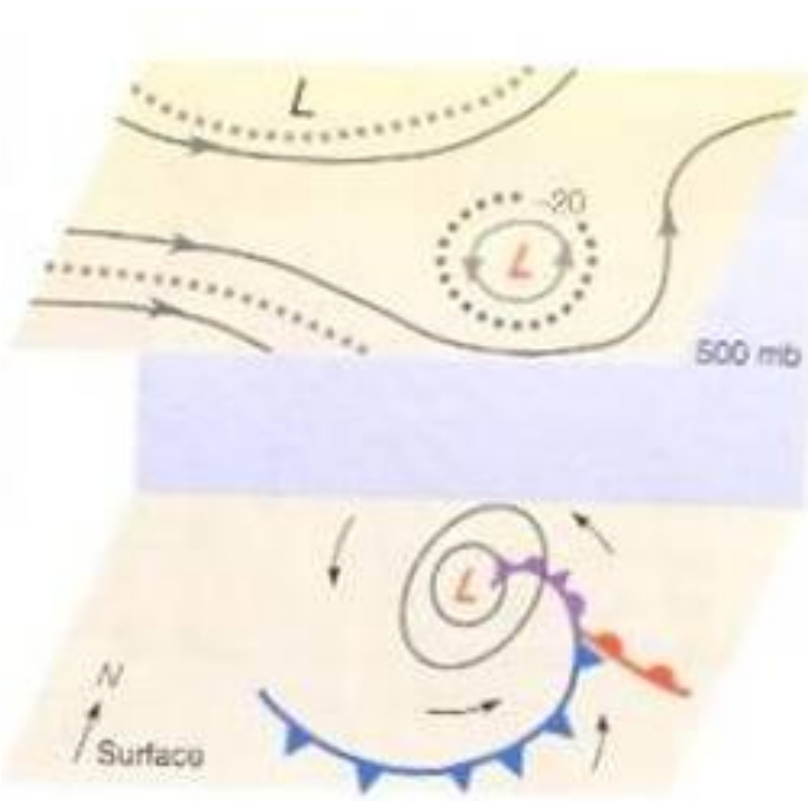
Ciclogênese extratropical



(19/09/2012 – 21Z)

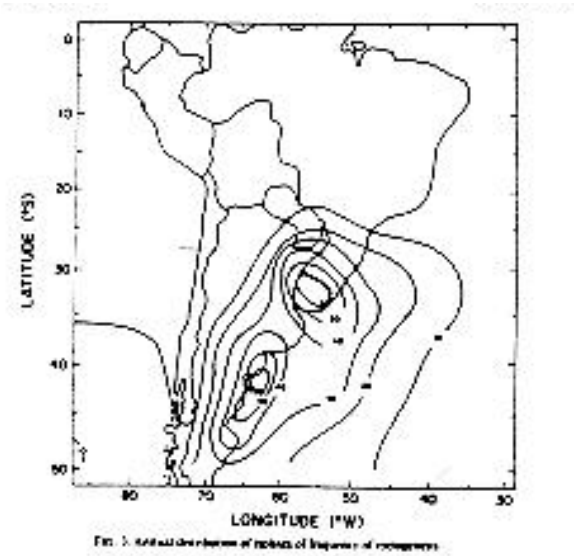
Ciclogênese extratropical

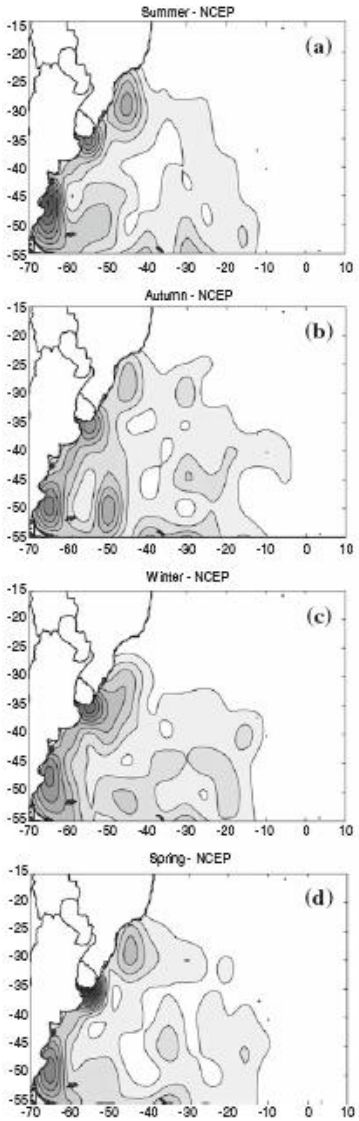
- Dissipação (oclusão)



Ciclogênese extratropical

Climatologia de ciclones extratropicais





Gan e Rao (1991) → análise de cartas de superfície;
duas regiões ciclogenéticas na AS

Sinclair (1996); Reboita et al. (2009); etc → três regiões ciclogenéticas

Ciclogênese tropical

1. Pequena perturbação próxima à superfície;
2. Ventos → fluxo de umidade oceano-atmosfera → ↑ convecção
3. Liberação de calor latente → abaixamento de pressão
4. Abaixamento de pressão → intensificação dos ventos
5. Intensificação dos ventos → intensificação dos fluxos

O ciclo se repete até que se suprima a principal fonte de energia do sistema:
“landfalling”/translação para TSM mais baixa

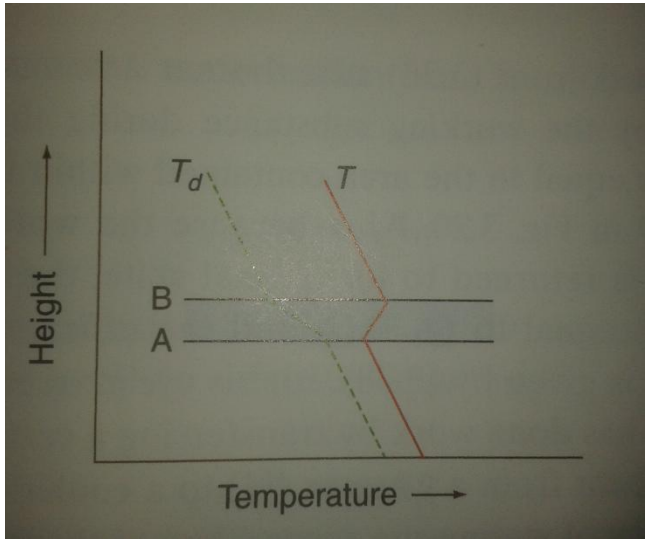
Ciclogênese tropical

Condições necessárias (mas não suficientes!!) para a ciclogênese tropical: (Gray, 1968)

- Perturbação ciclônica na baixa troposfera (precursora);

- Alta energia térmica do oceano (TSM > 26ºC numa camada superior a 60 m);

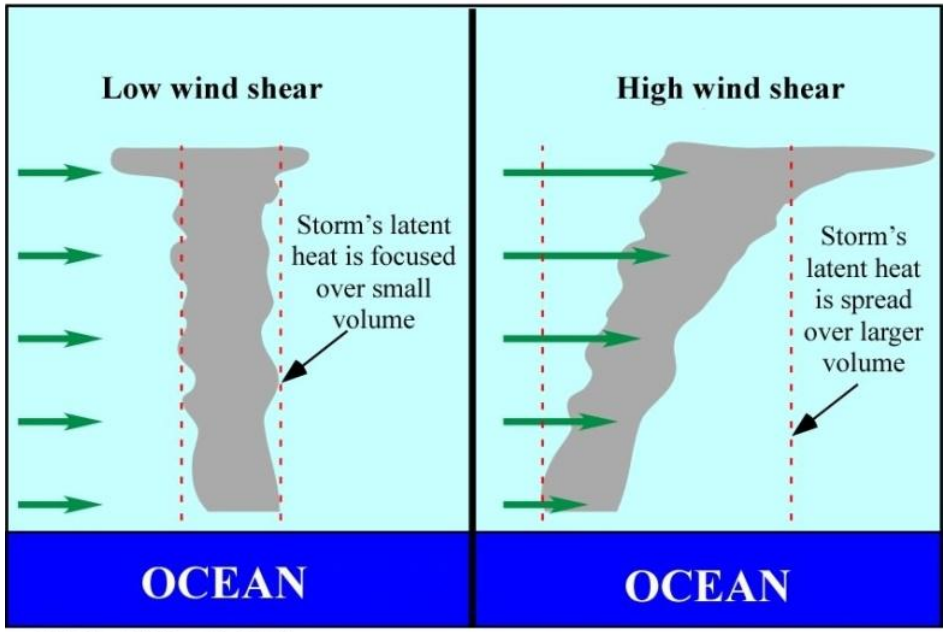
- Alta umidade relativa na baixa troposfera (instabilidade convectiva!)



Ciclogênese tropical

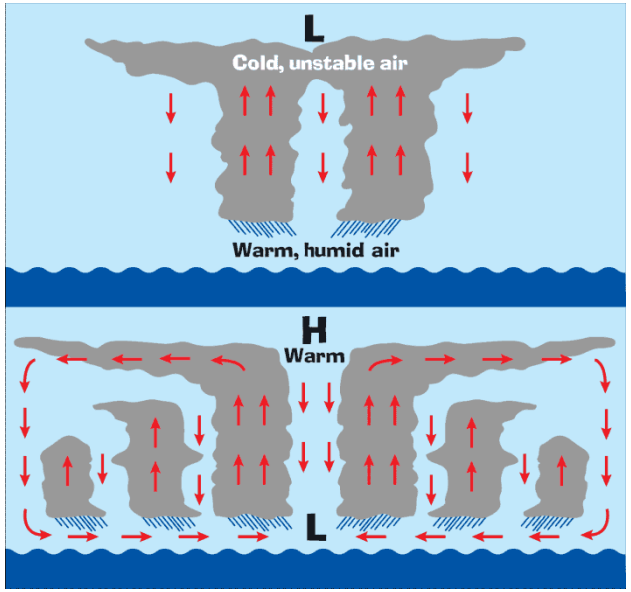
- Força de Coriolis;

- Fraco cisalhamento vertical do vento.



© 2002 Kendall/Hunt Publishing

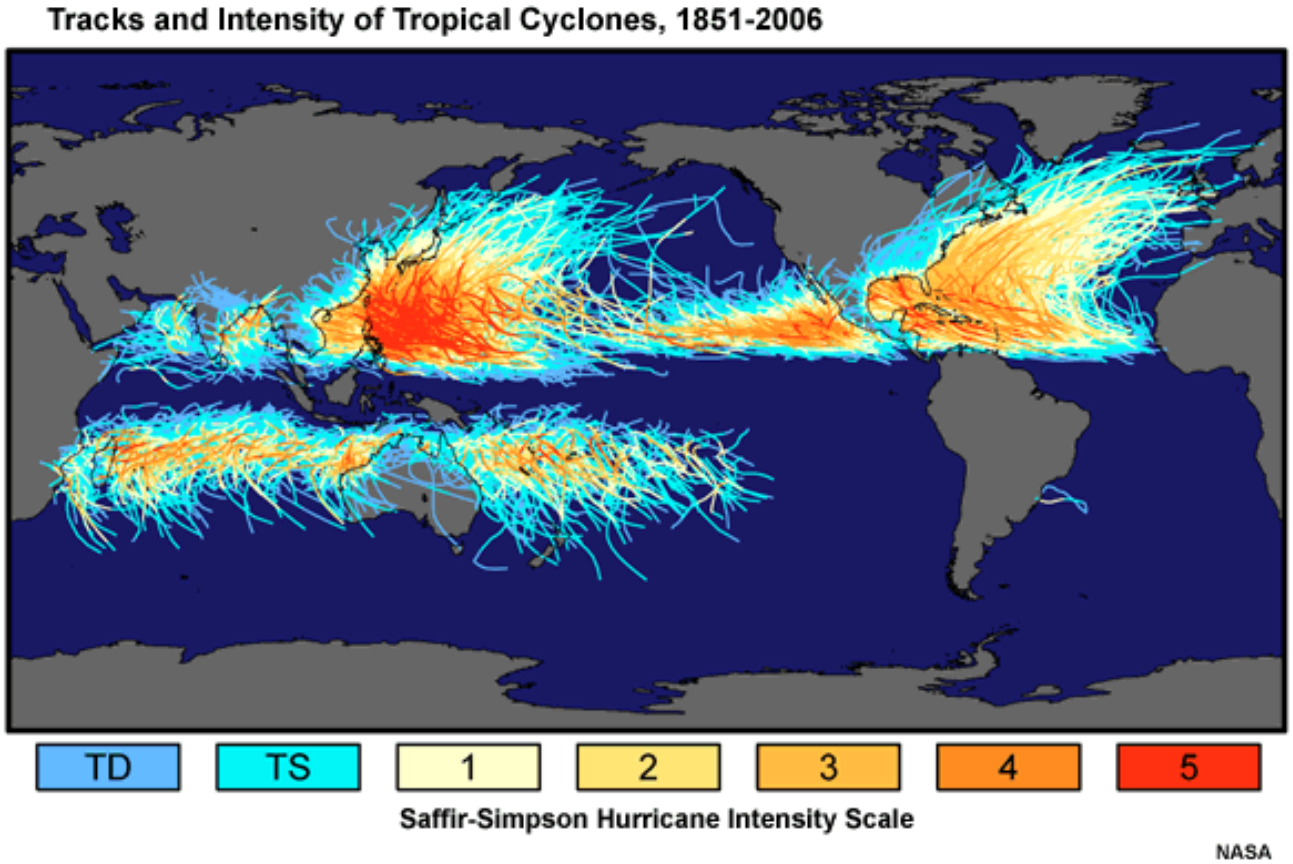
Ciclogênese tropical



Ao mover-se sobre o continente, a redução dos fluxos de superfície e a rugosidade do terreno não conseguem manter o vórtice contra a dissipação friccional -> dissipação OU transição extratropical.

Ciclogênese tropical

Climatologia de ciclones tropicais



Ciclone extratropical

- **Milhares de km** de diâmetro;

- **Assimétrico, frontal;**

- Formação em regiões **baroclínicas**;

- **Forte** cisalhamento vertical do vento;

- Intensificado (principalmente) pela **advecção de temperatura**;

- Núcleo **frio** (em toda a troposfera) e **inclinado para oeste**

Ciclone tropical

- **Centenas de km** de diâmetro;

- **Simétrico, não-frontal;**

- Formação em regiões **barotrópicas**;

- **Fraco** cisalhamento vertical do vento;

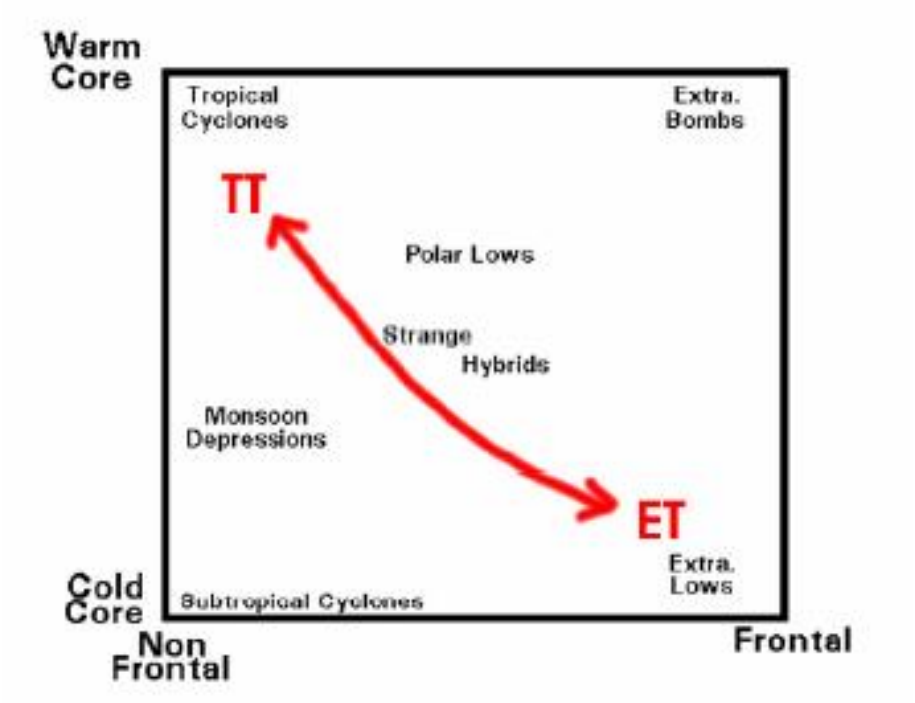
- Intensificado pela **atividade convectiva**;

- Núcleo **quente** (em toda a troposfera) e **verticalmente alinhado**

Ciclones subtropicais

WMO: “Sistema de baixa pressão não-frontal com características intermediárias entre tropical e extratropical.”

Ciclones híbridos, com núcleo frio em altos níveis e quente em baixos níveis. Possuem estruturas e/ou origem ambíguas (Evans e Guishard, 2009). Efeitos de tempo similares aos de um ciclone tropical.



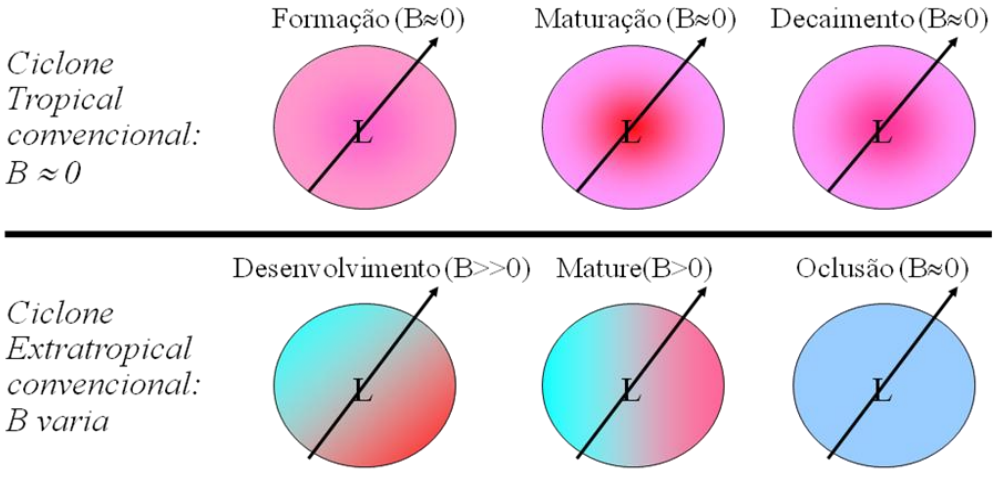
Beven (1997), Pezza e Simmons (2008)

CYCLONE PHASE SPACE – CPS (Hart, 2003)

- Descrição da estrutura térmica dos ciclones a partir do campo de geopotencial;

- Parâmetros:

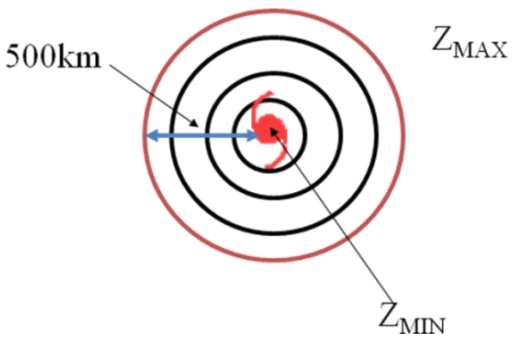
- Simetria térmica (B)



- Vento térmico em duas camadas ($-|V_T^L|$, $-|V_T^U|$)

$$-|V_T^L| = \left.\frac{\partial(Z_{\max} - Z_{\min})}{\partial \ln p}\right|_{900}^{600}$$

$$-|V_T^U| = \left.\frac{\partial(Z_{\max} - Z_{\min})}{\partial \ln p}\right|_{600}^{300}$$

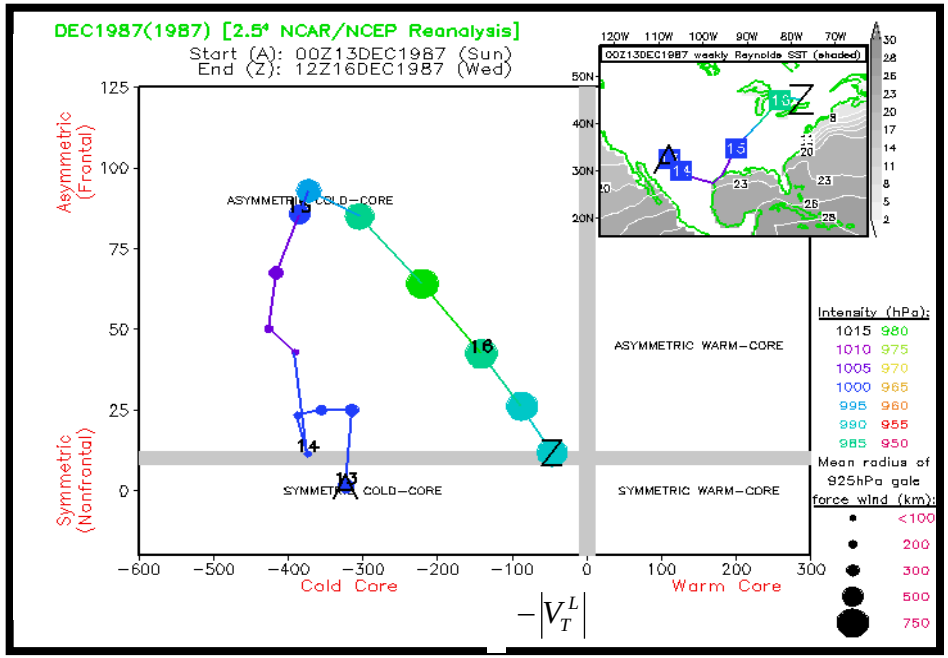


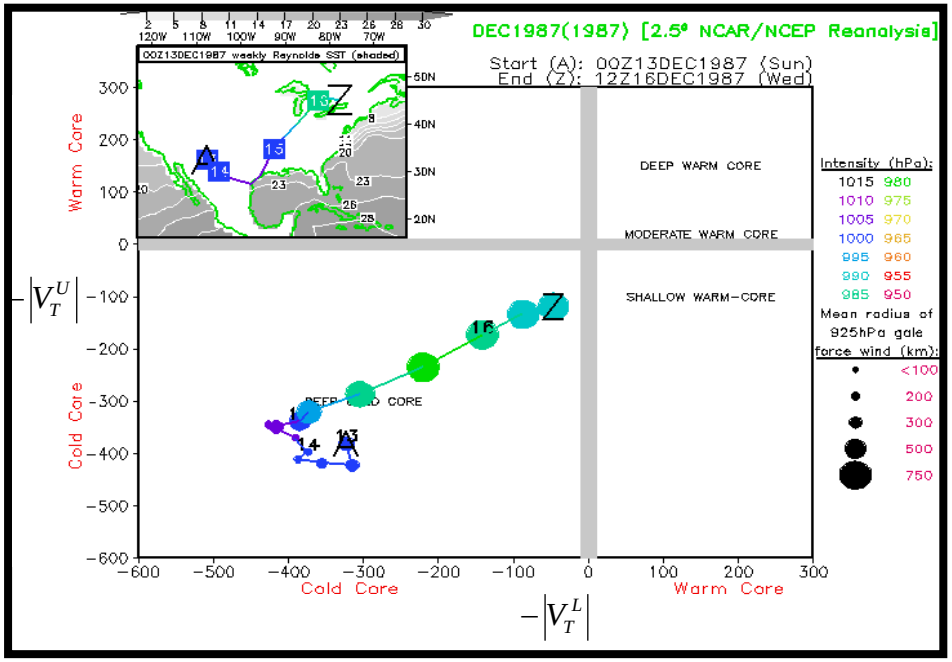
$$\Delta Z = Z_{\max} - Z_{\min}$$

- Núcleo quente → $-|V_T| > 0$
- Núcleo frio → $-|V_T| < 0$

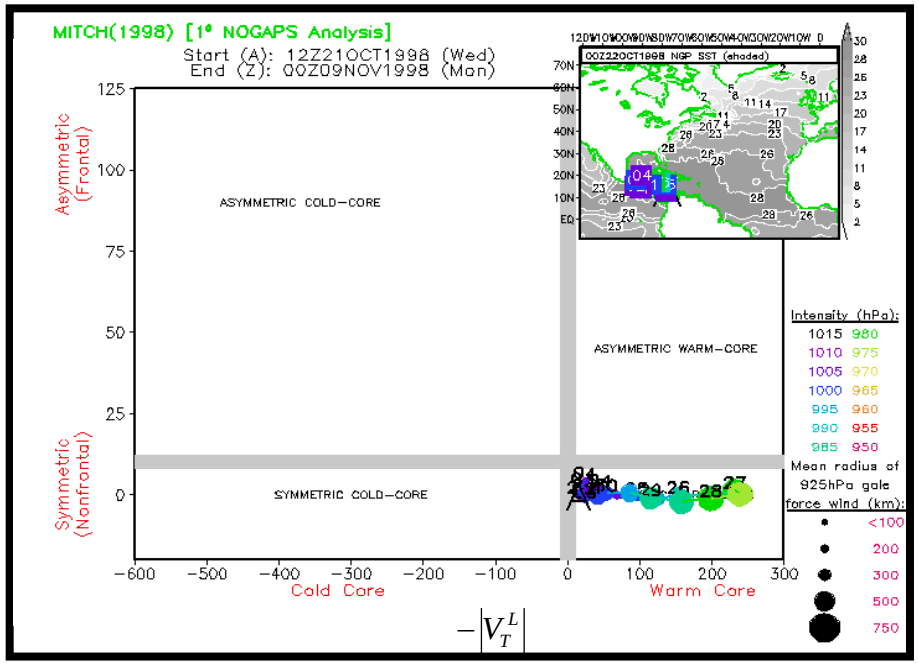
Tipo de ciclone	B **(metros)**	$-\|V_T^L\|$	$-\|V_T^U\|$
Tropical	-10 < B < 10	>> 0	>> 0
Subtropical	Varia, mas não adquire valores grandes	> -10	< 10
Extratropical	>10	< 0	<< 0

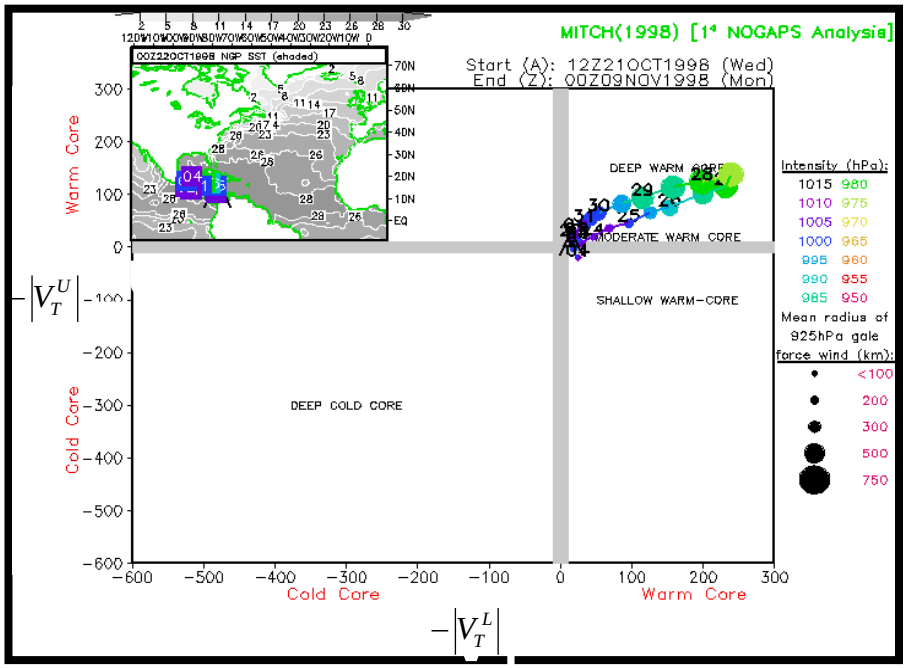
CPS de um ciclone extratropical





CPS de um ciclone tropical



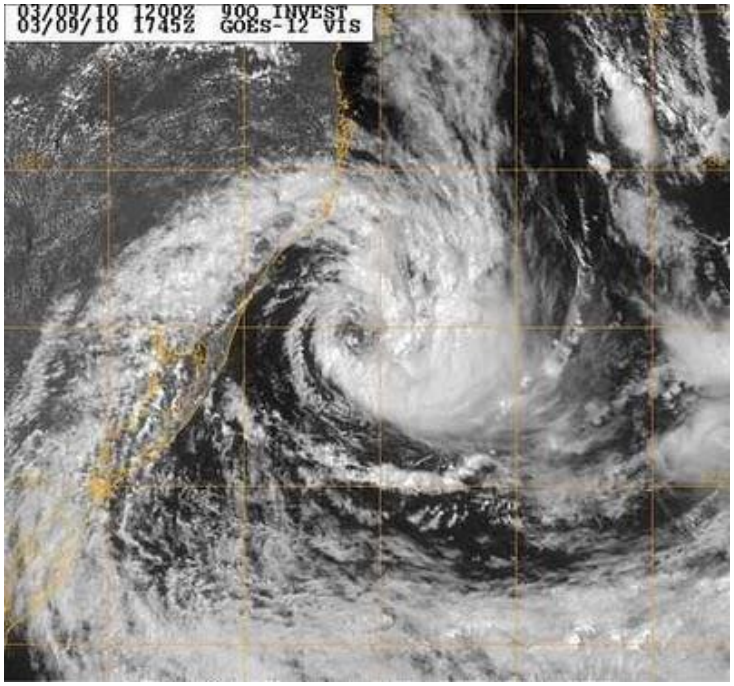


Formação de ciclones subtropicais:

- Ciclone subtropical puro;

- Transição tropical/extratropical (estágio intermediário)

- Seclusão quente;



Ciclone subtropical “Anita” (2010)

Ciclone subtropical “puro”:

Núcleo frio e de vorticidade ciclônica em médios níveis → <u>Movimento ascendente</u> e <u>diminuição do cisalhamento vertical do vento</u>.

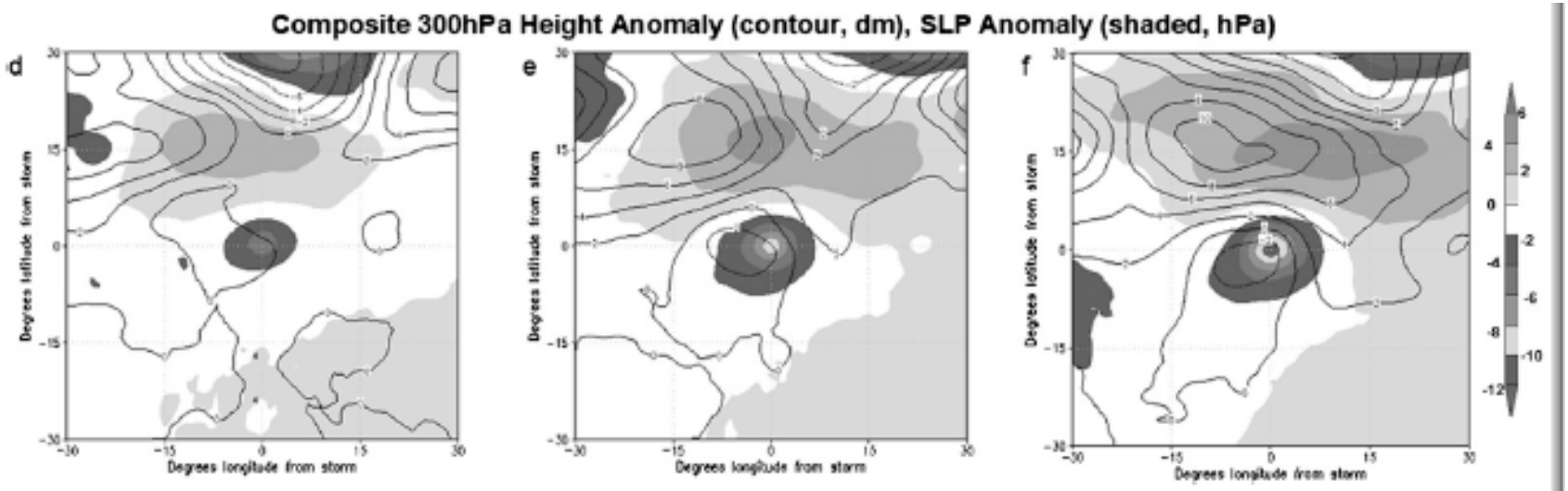
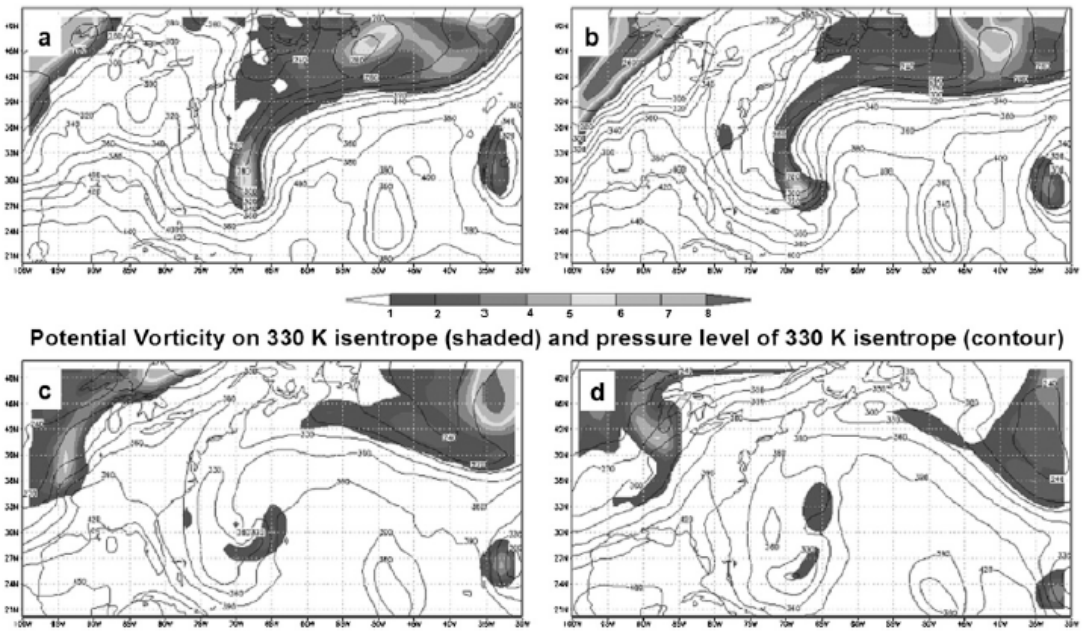


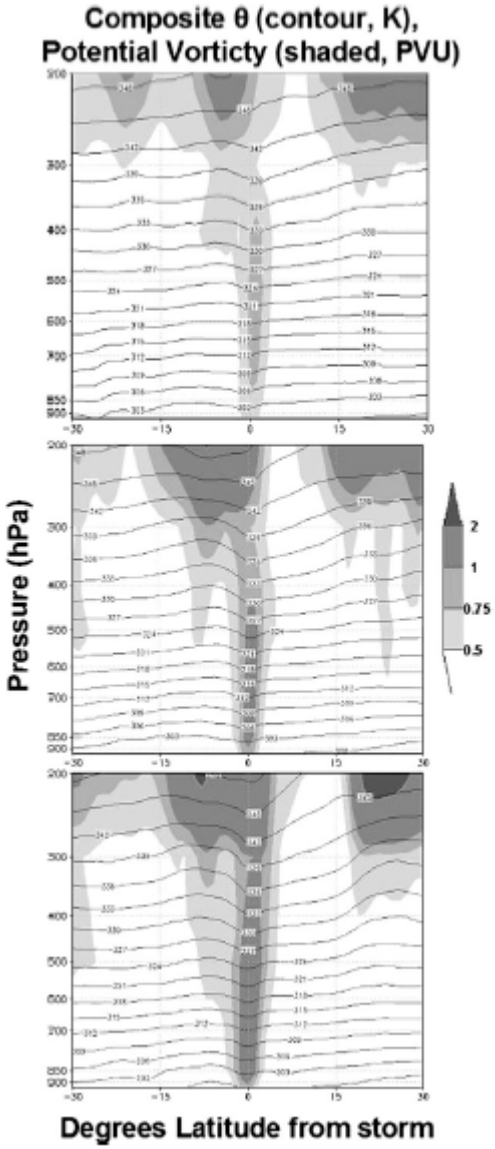
FIG. 7. Composites (all 18 ST) of 300-hPa geopotential heights (contours; dam) and sea level pressure (shaded; hPa) at times (a) $T - 24$ h, (b) T, and (c) $T + 24$ h. Also plotted are the anomaly fields for times (d) $T - 24$ h, (e) T, and (f) $T + 24$ h.

(Evans e Guishard, 2009)

Ciclone subtropical “puro”:

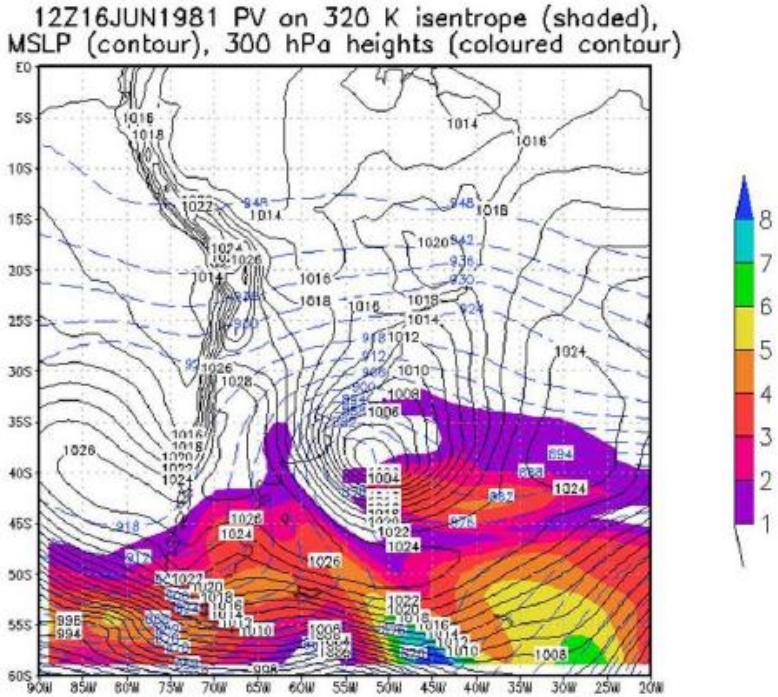
Anomalia de vorticidade potencial em altos níveis:
<u>MAIS movimento ascendente</u>.

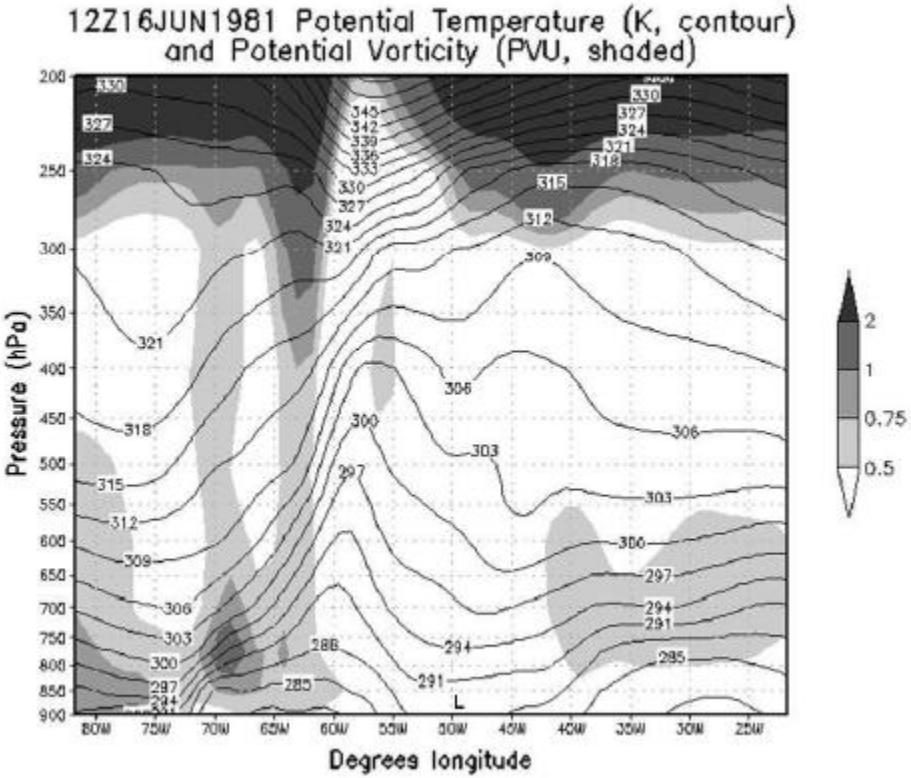




(Evans e Guishard, 2009)

Enquanto isso, no **Atlântico Sul**……





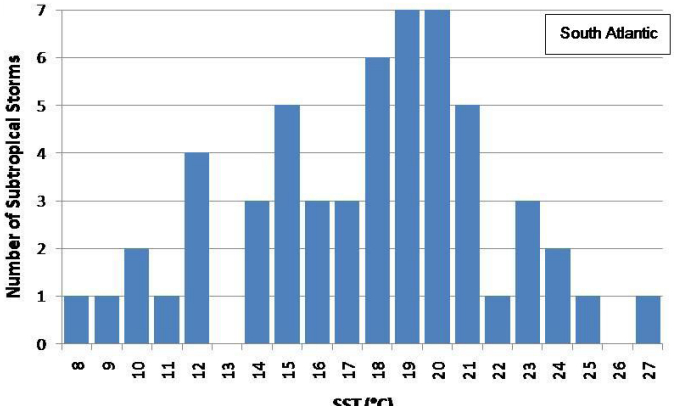
(Braun, 2009)

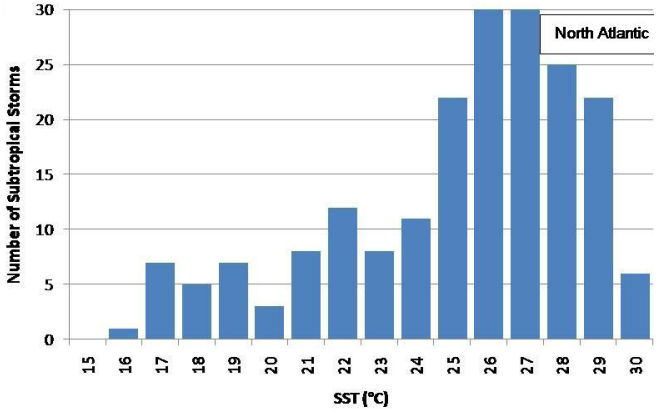
- “PV cradle” → menos vorticidade potencial no centro do sistema, menor probabilidade de transição tropical

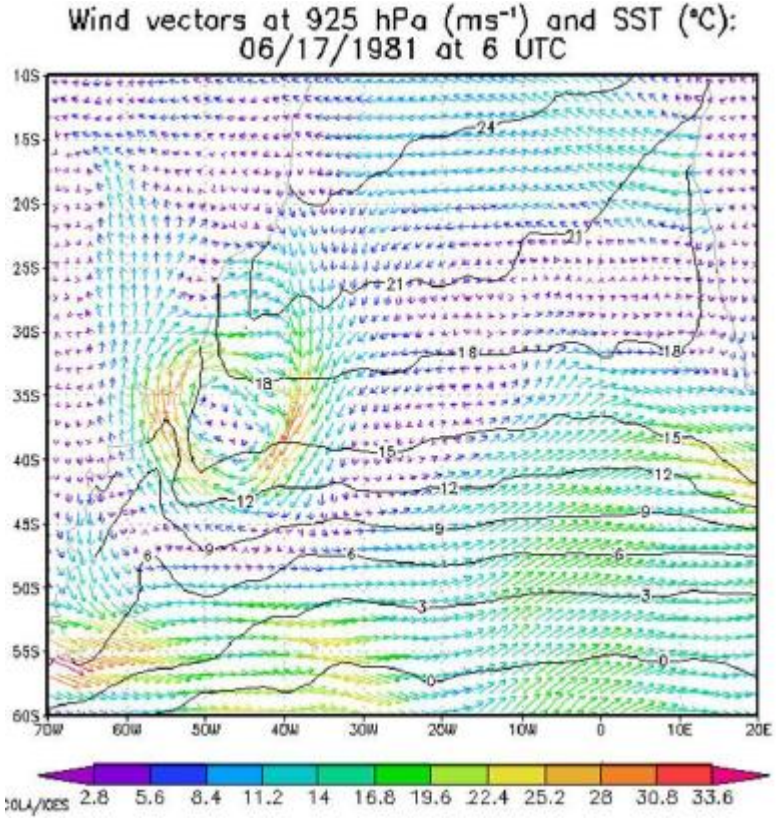
- Importância da advecção de vorticidade potencial (forte cisalhamento do vento)

Enquanto isso, no **Atlântico Sul**……

A instabilização da atmosfera via advecção quente contrabalança a menor TSM!
(Evans e Braun, 2012)



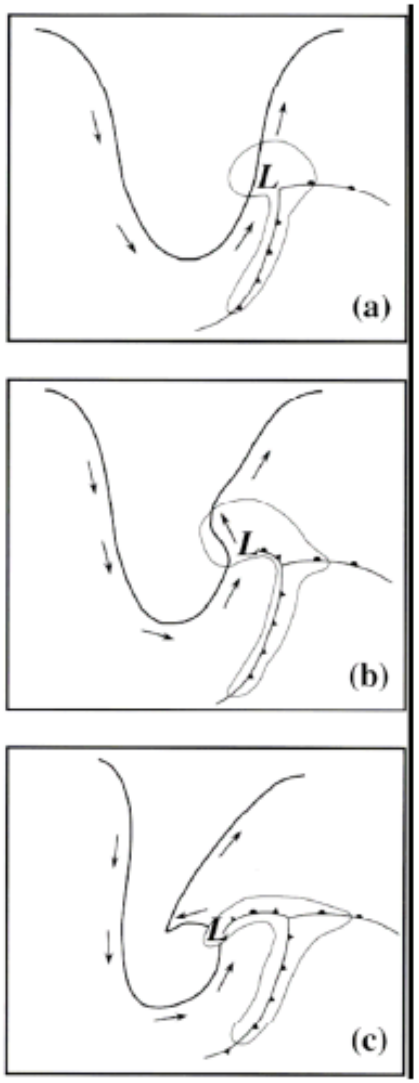




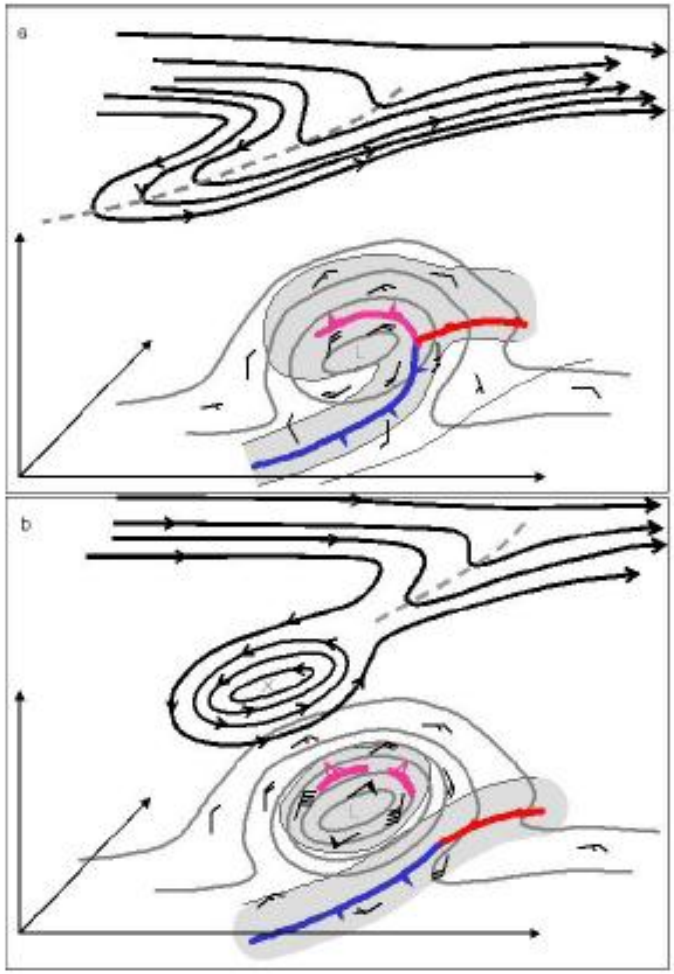
E o papel da advecção de umidade?
Como é a climatologia deste processo?
Experimentos de sensibilidade?

(Eu, em algum momento de 2014)

- Transição subtropical

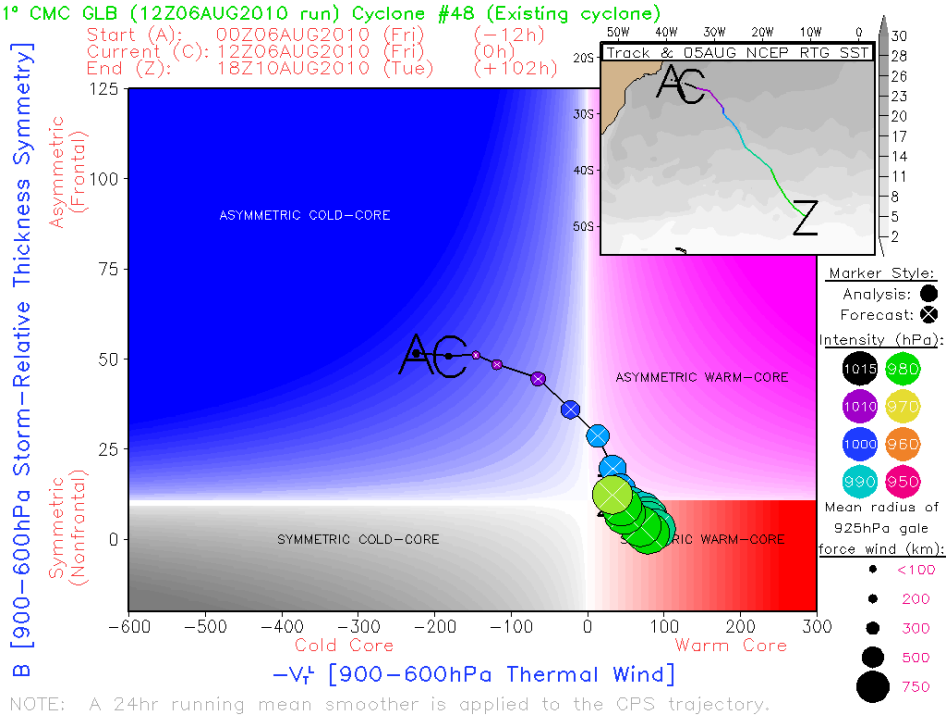


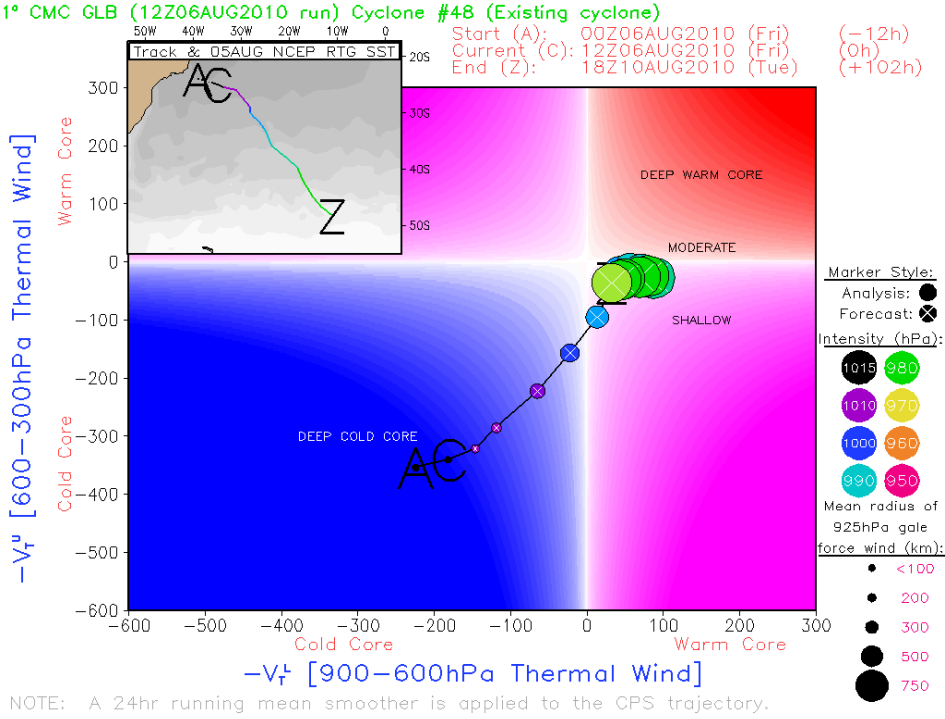
(Posselt e Martin, 2004)



(Guishard, 2006)

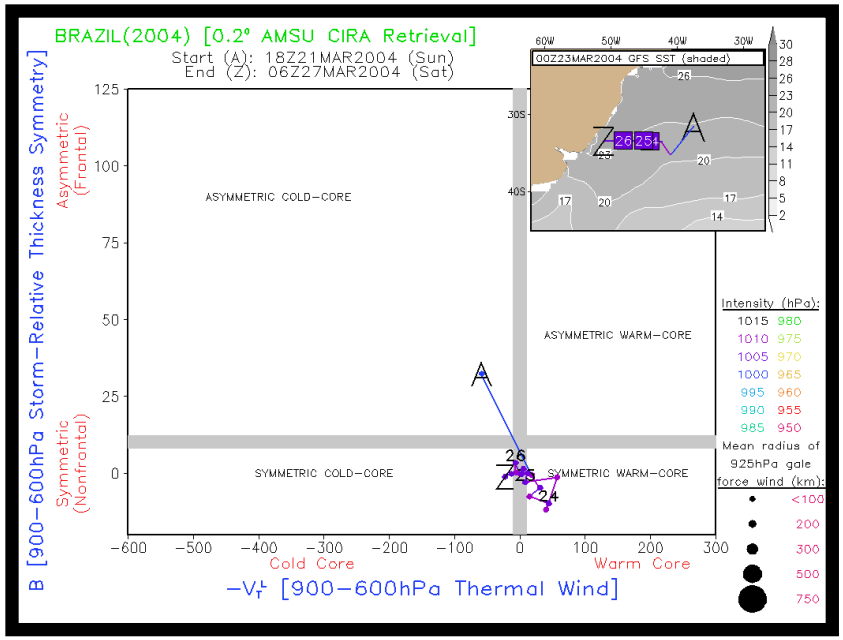
CPS de uma transição subtropical

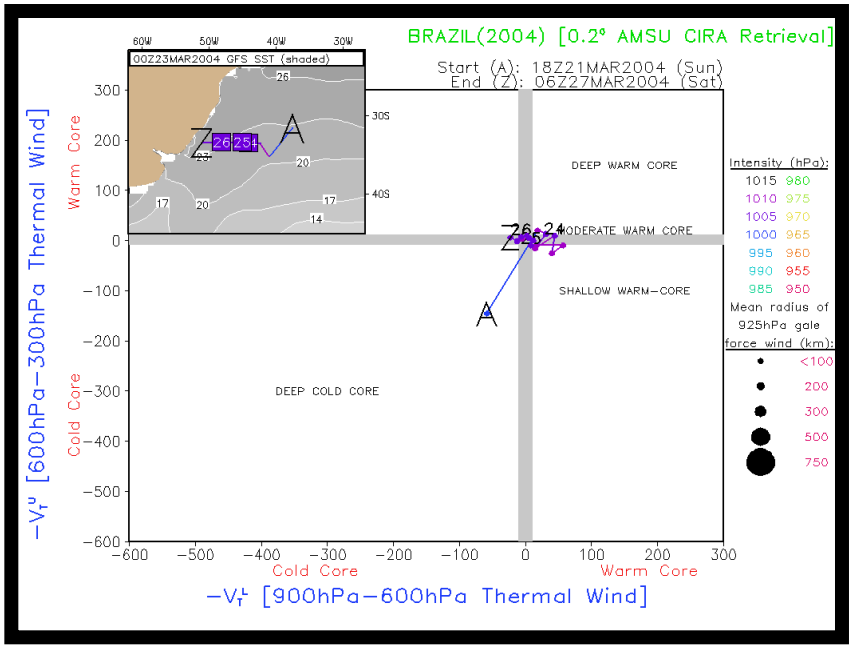




Sob condições favoráveis……..

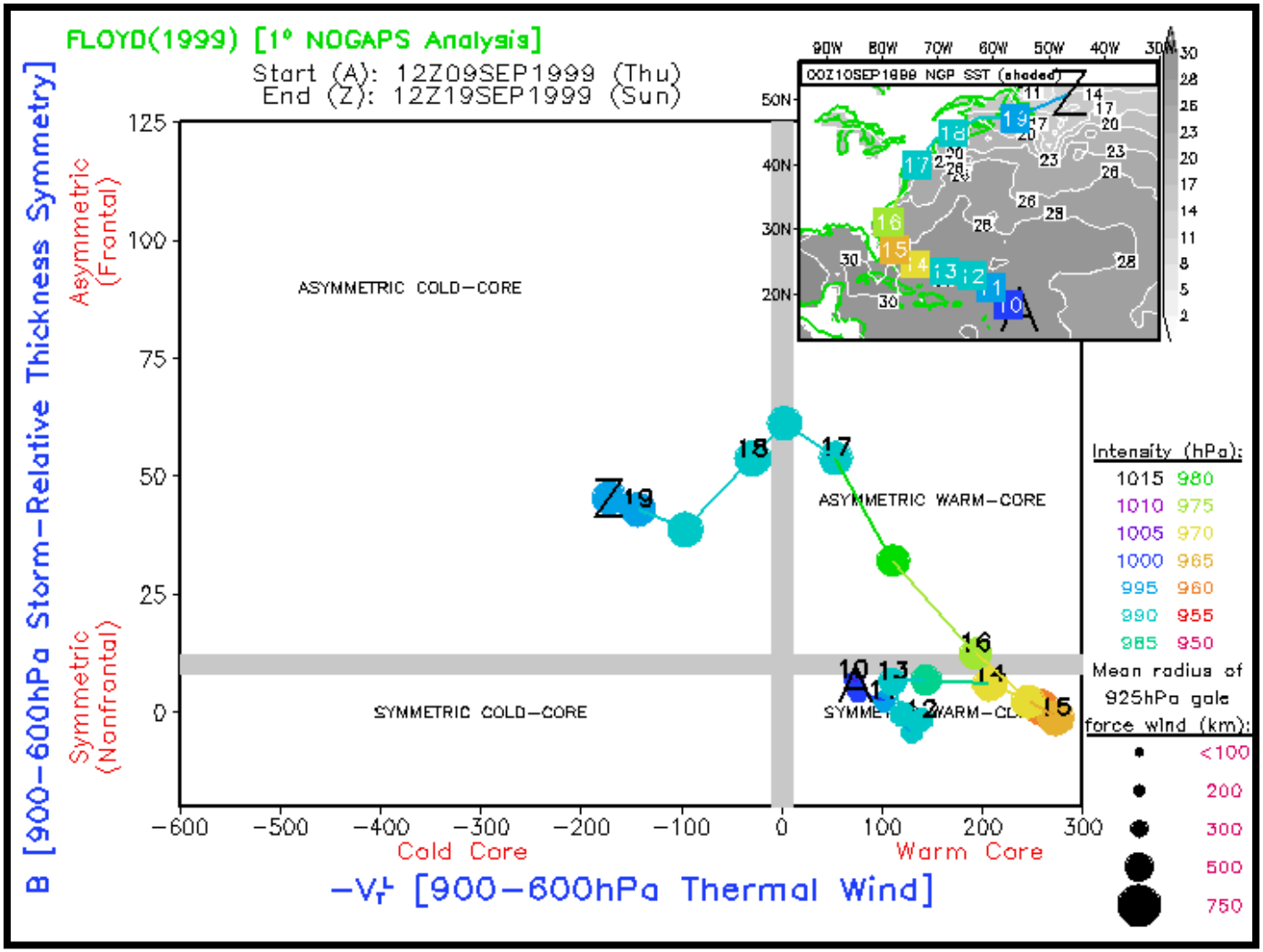
Ciclone Catarina (mar/04)





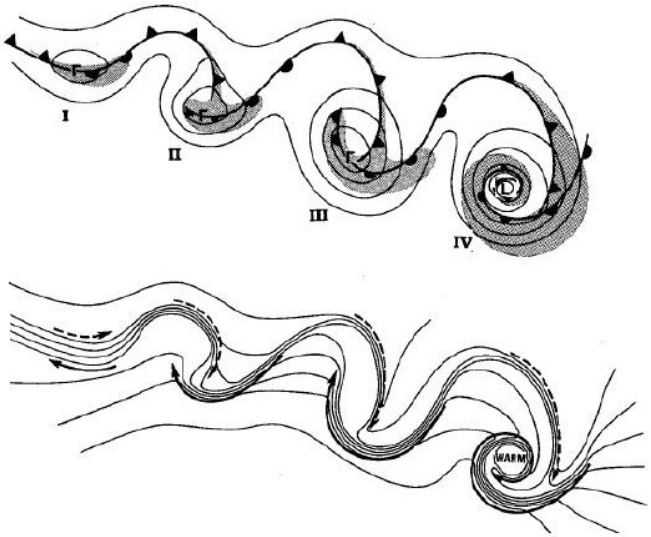
Transição tropical!!

- Transição extratropical

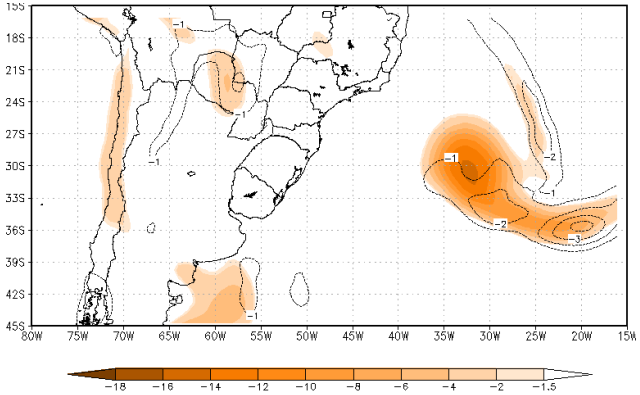


- Seclusão quente

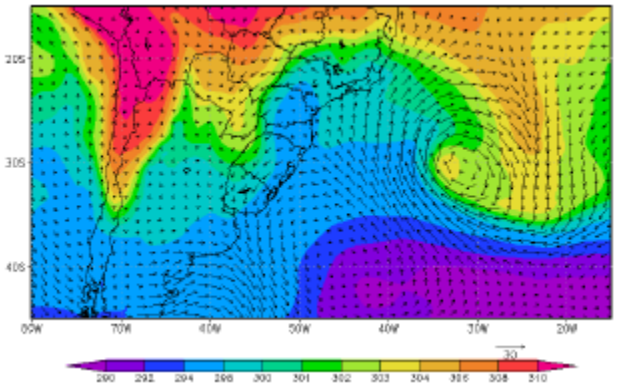
- Ciclones **extratropical** Shapiro-Keyser



(Neiman e Shapiro, 1993)



ζ_r (sombreado) e divergência do vento (contornos)em 925 hPa
31/05/1997

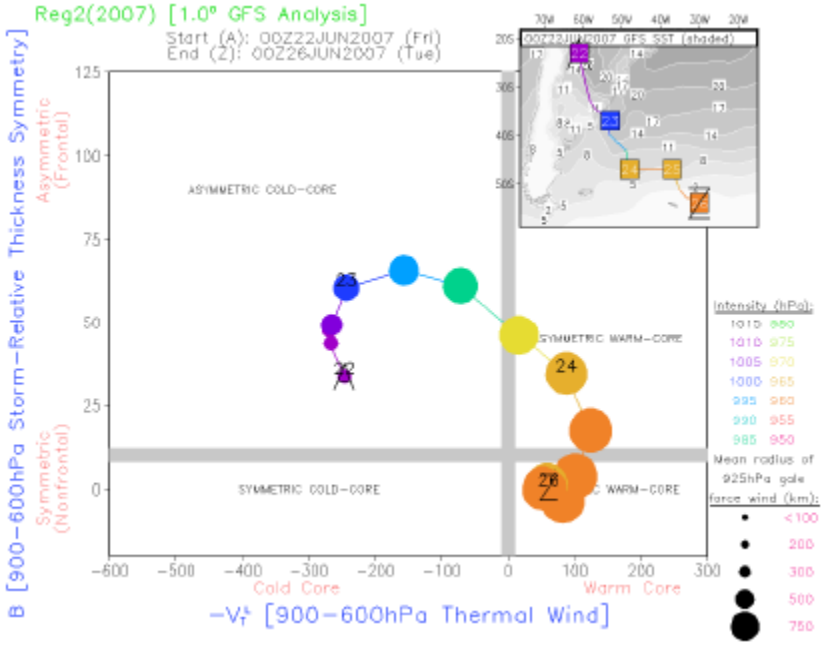


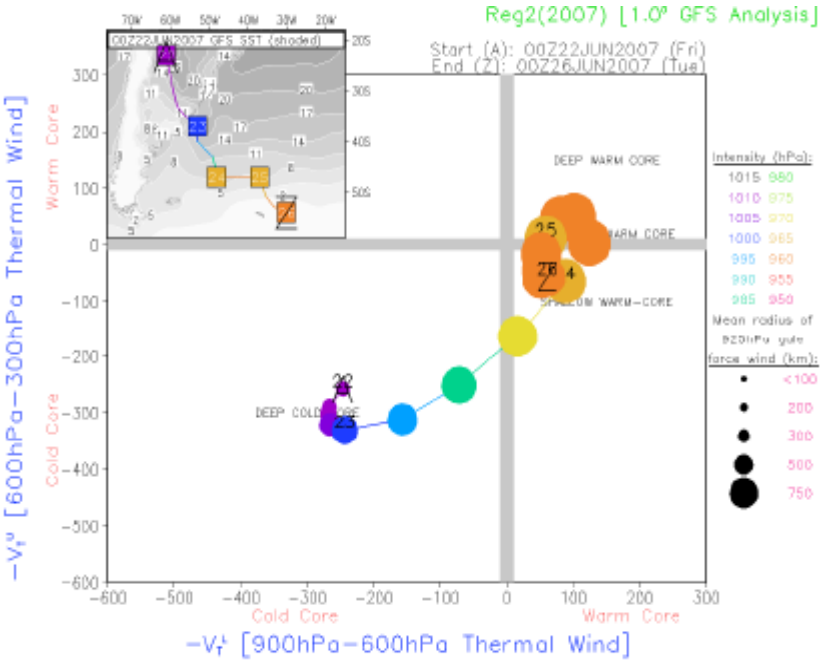
θ_e e ventos em 925 hPa
31/05/1997

(Gozzo e da Rocha, 2012)

- Hulme e Martin (2009): ciclogênese subtropical a partir de seclusões.

CPS de uma seclusão quente





(Dias Pinto, 2010)

www.calxibe.com
OBRIGADO!!