



INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



Clima do Brasil



Prof. Ricardo de Camargo

Aula 9 - ACA 0430 - Meteorologia Sinótica e Aplicações à Oceanografia

Visão Geral

- O clima de qualquer região pode ser entendido em termos da **circulação de grande escala da atmosfera (CGE)** (ex. células convectivas de Hadley-Walker) associada aos **sistemas atmosféricos de escala sinótica** (ex. para o NEB: frentes frias, VCAN) e da **circulação de escala local (CEL)** (ex. circulações de brisas, convecção por ascensão dinâmica, circulações vale-montanha).
- A **CEL** é influenciada pelas características da superfície: topografia, cobertura vegetal, água/gelo/terra, diferenças térmicas continente-oceano.
- **CGE** têm como fonte física térmica importante de influência direta as chamadas condições de contorno (ex. TSM). A CGE é resultado:
 - (i) do aquecimento diferenciado do globo pela radiação solar;
 - (ii) da distribuição assimétrica dos oceanos e continentes.

Visão Geral

- Os padrões de circulação gerados na atmosfera redistribuem calor, umidade e momento pelo globo de forma não homogênea, podendo aumentar ou diminuir diferenças regionais;
- O clima é o resultado “médio” da interação da circulação geral da atmosfera com as características locais, podendo ou não apresentar variações segundo a época do ano → **O clima não pode ser alterado em curtos períodos de tempo.**

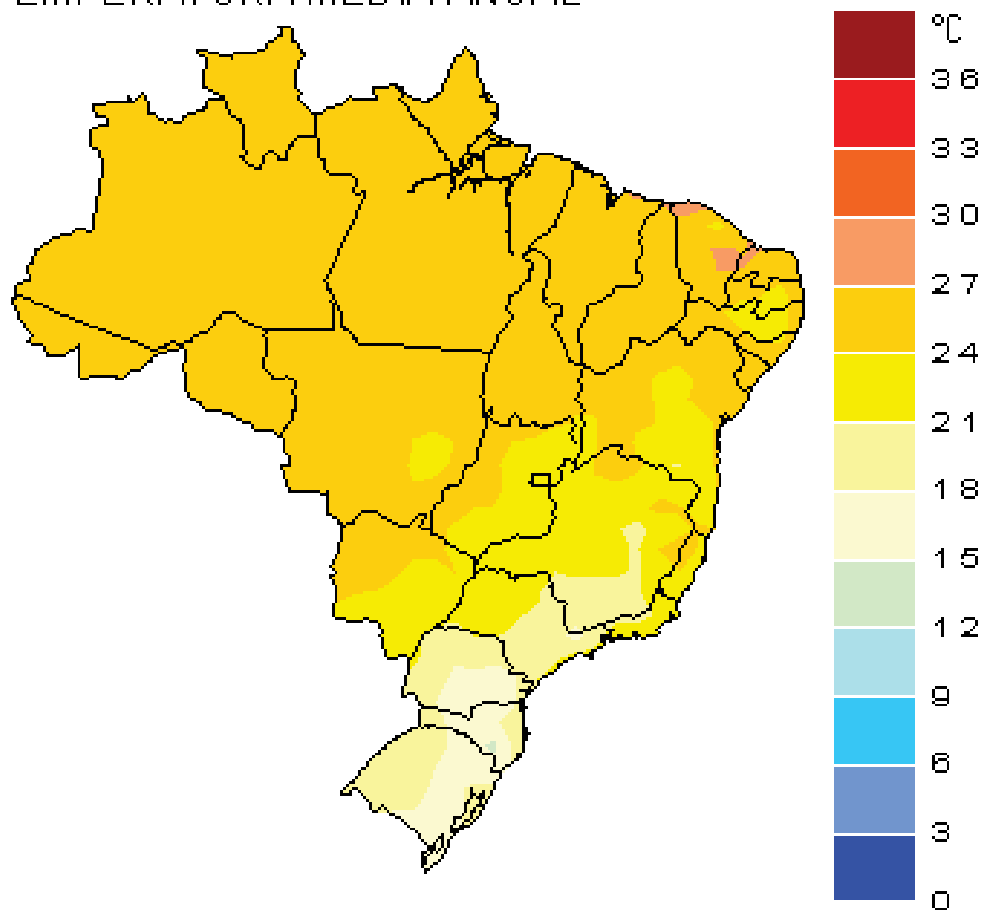
Climatologia Dinâmica do Brasil

The slide features a white background with the title 'Climatologia Dinâmica do Brasil' centered in a black, sans-serif font. Below the title, there are two horizontal lines: a blue line that starts slightly to the right of the left edge and ends at the right edge, and a teal line that spans the entire width of the slide. At the very bottom, there is a solid green horizontal bar.

Temperatura média e precipitação anual

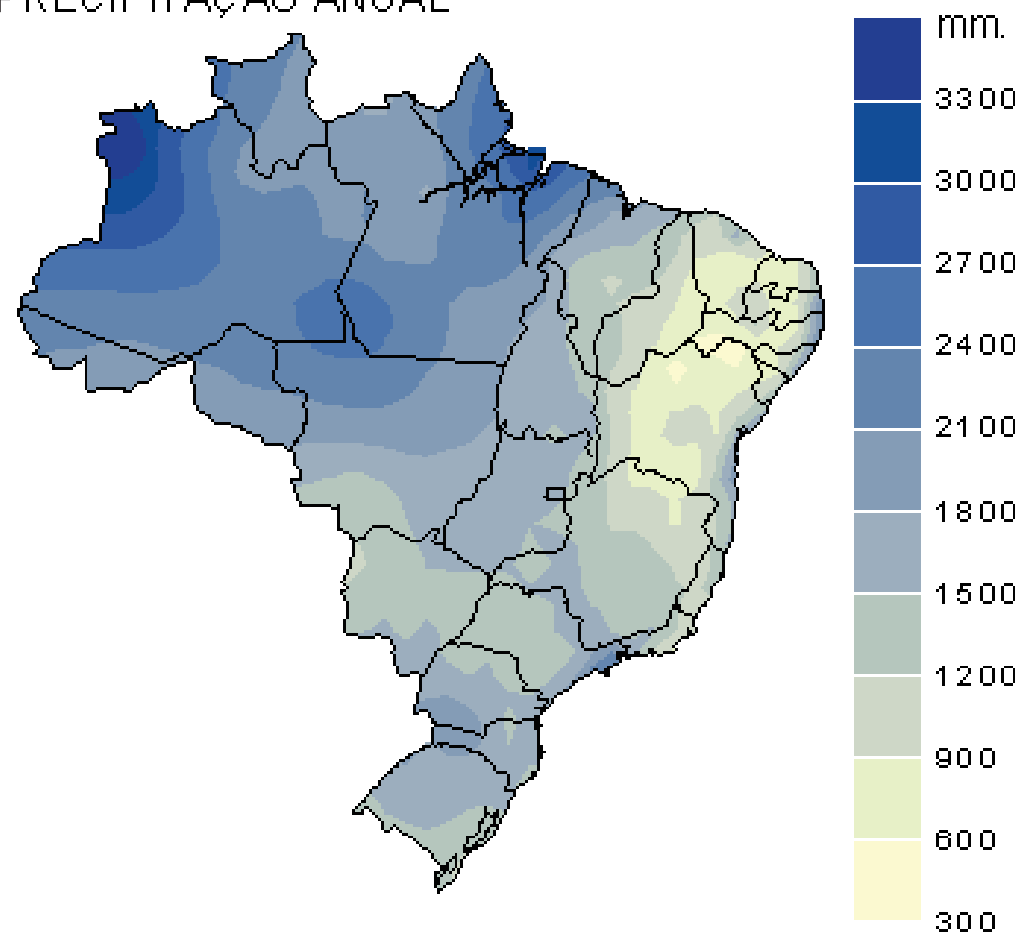


TEMPERATURA MÉDIA ANUAL



Fonte: INMET 1931/1990

PRECIPITAÇÃO ANUAL

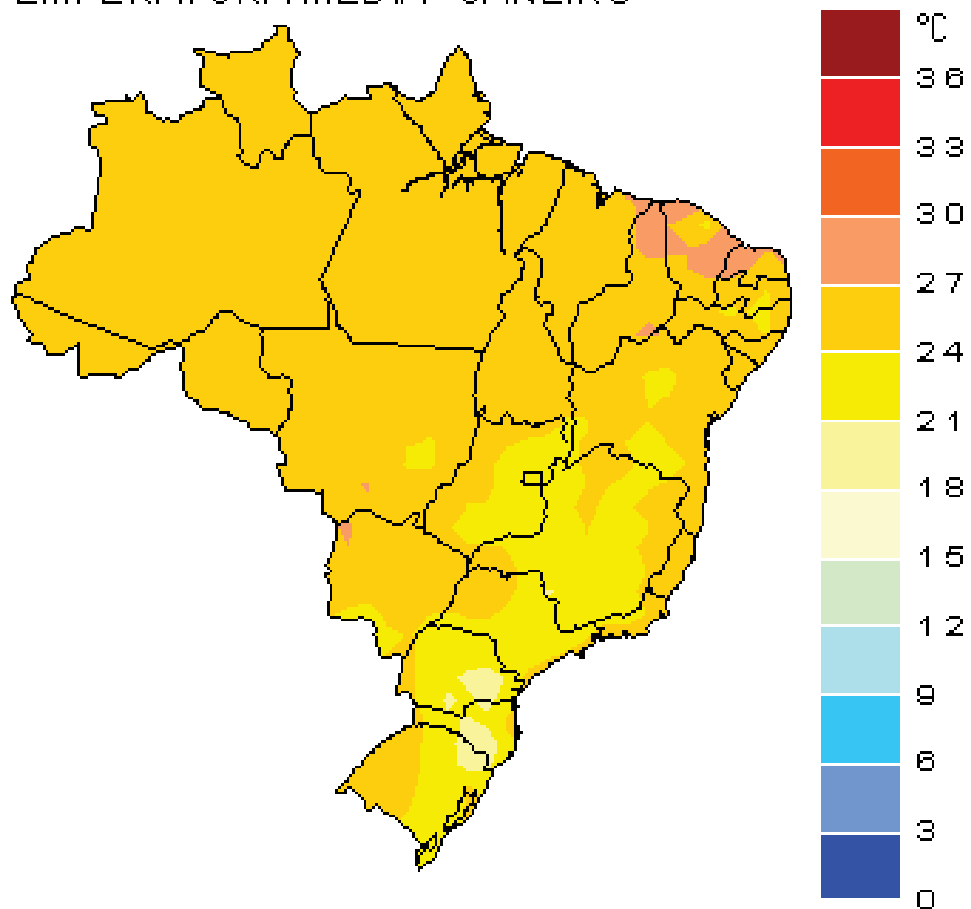


Fonte: INMET 1931/1990

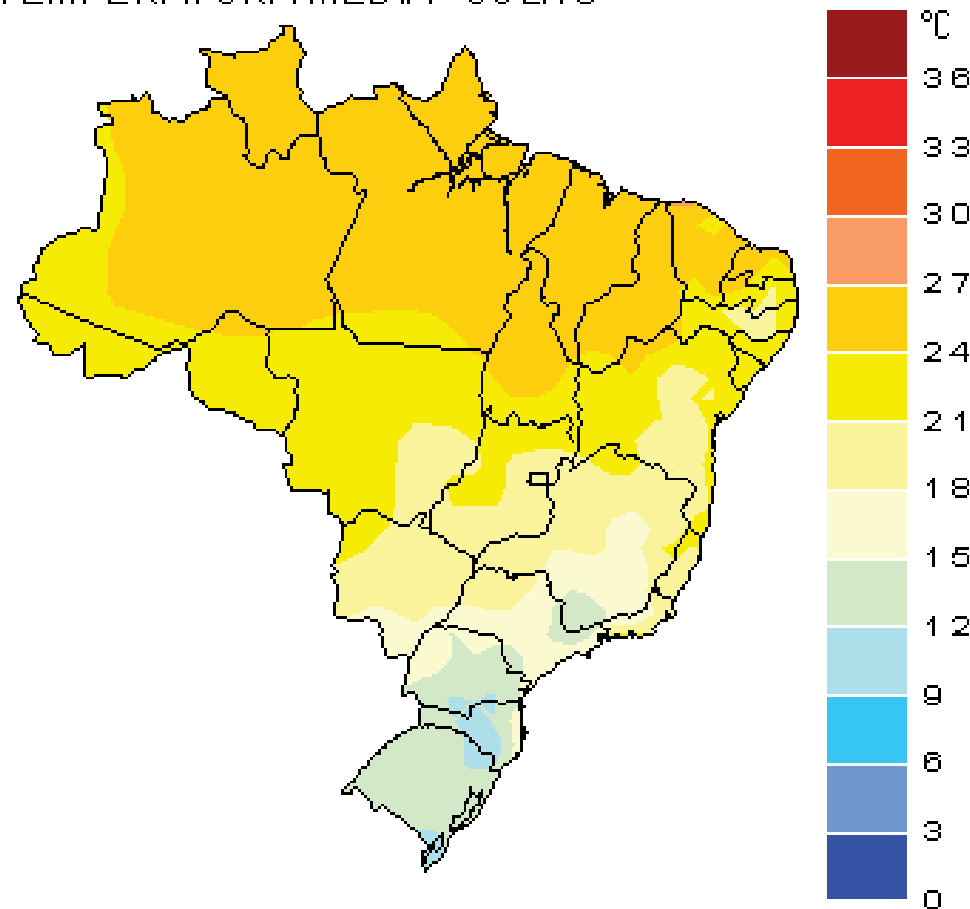
Temperatura média (Jan e Jul)



TEMPERATURA MÉDIA - JANEIRO



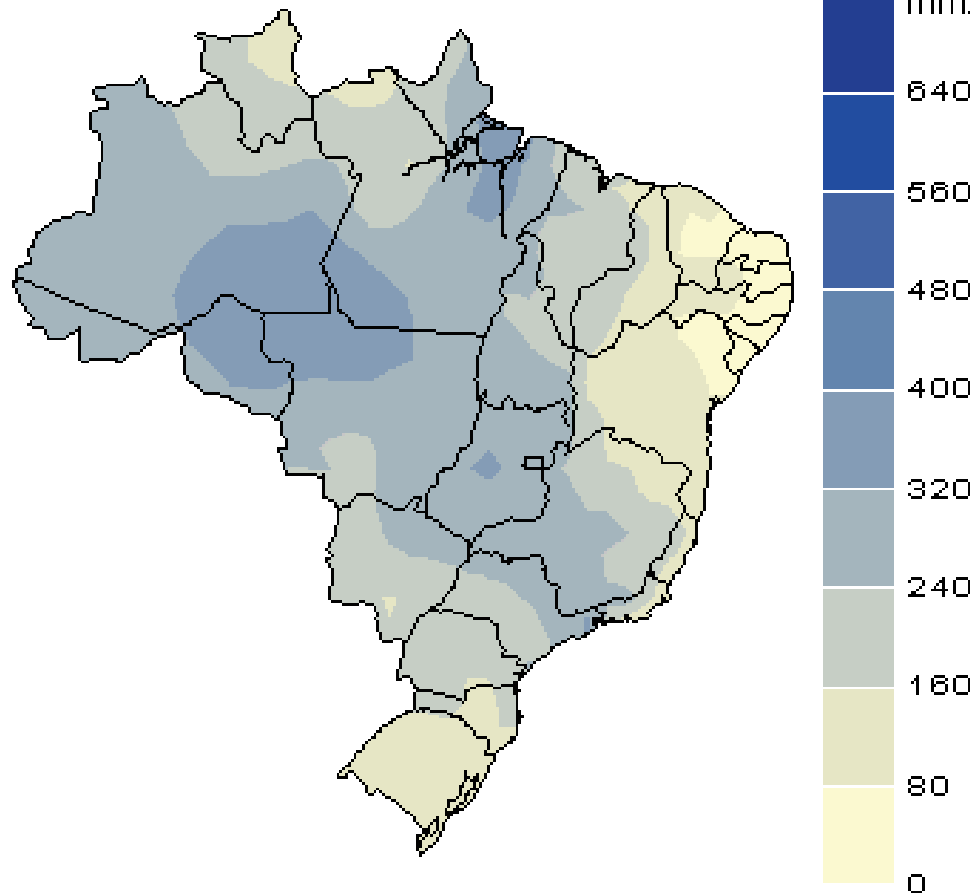
TEMPERATURA MÉDIA - JULHO



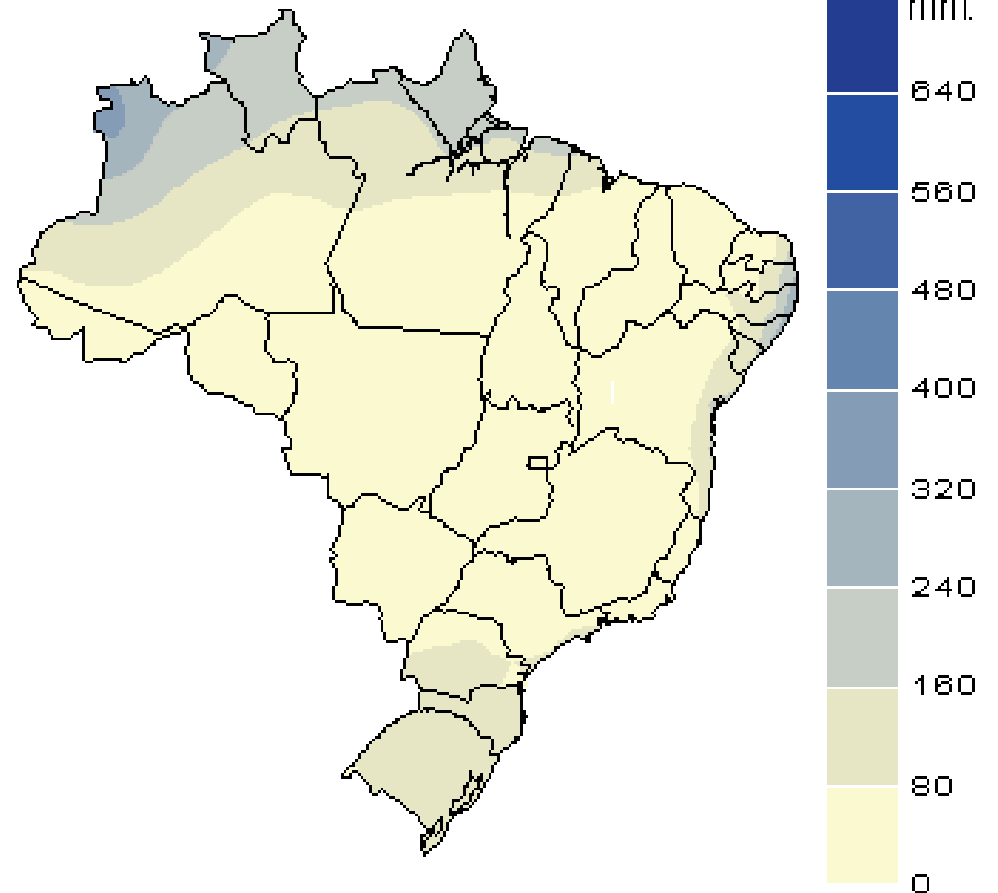
Precipitação média (Jan e Jul)



PRECIPITAÇÃO - JANEIRO

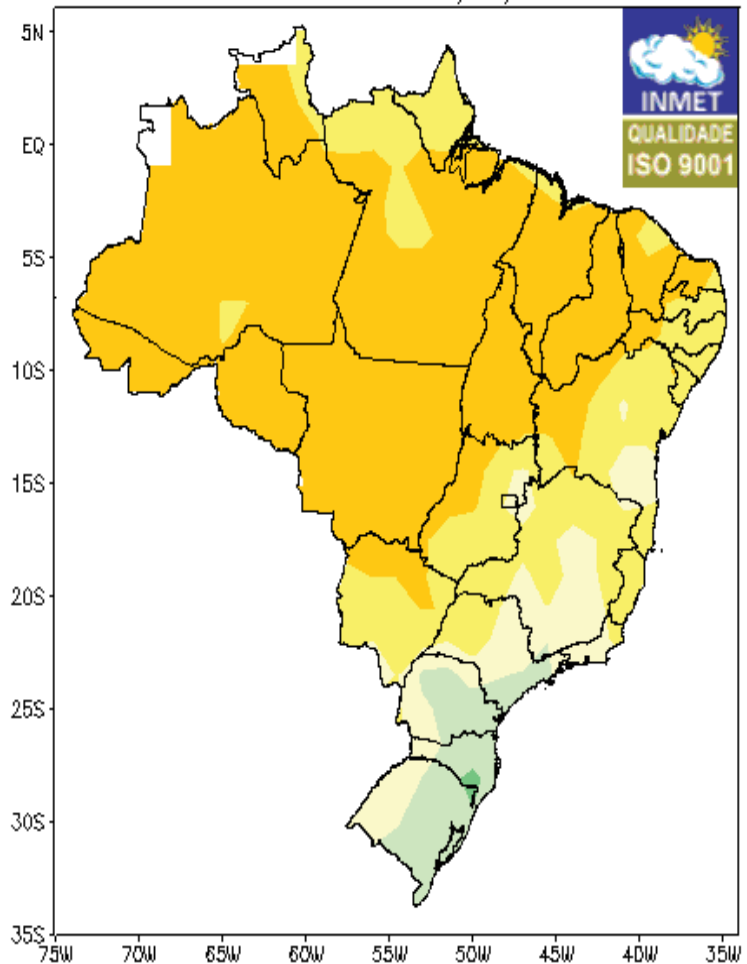


PRECIPITAÇÃO - JULHO

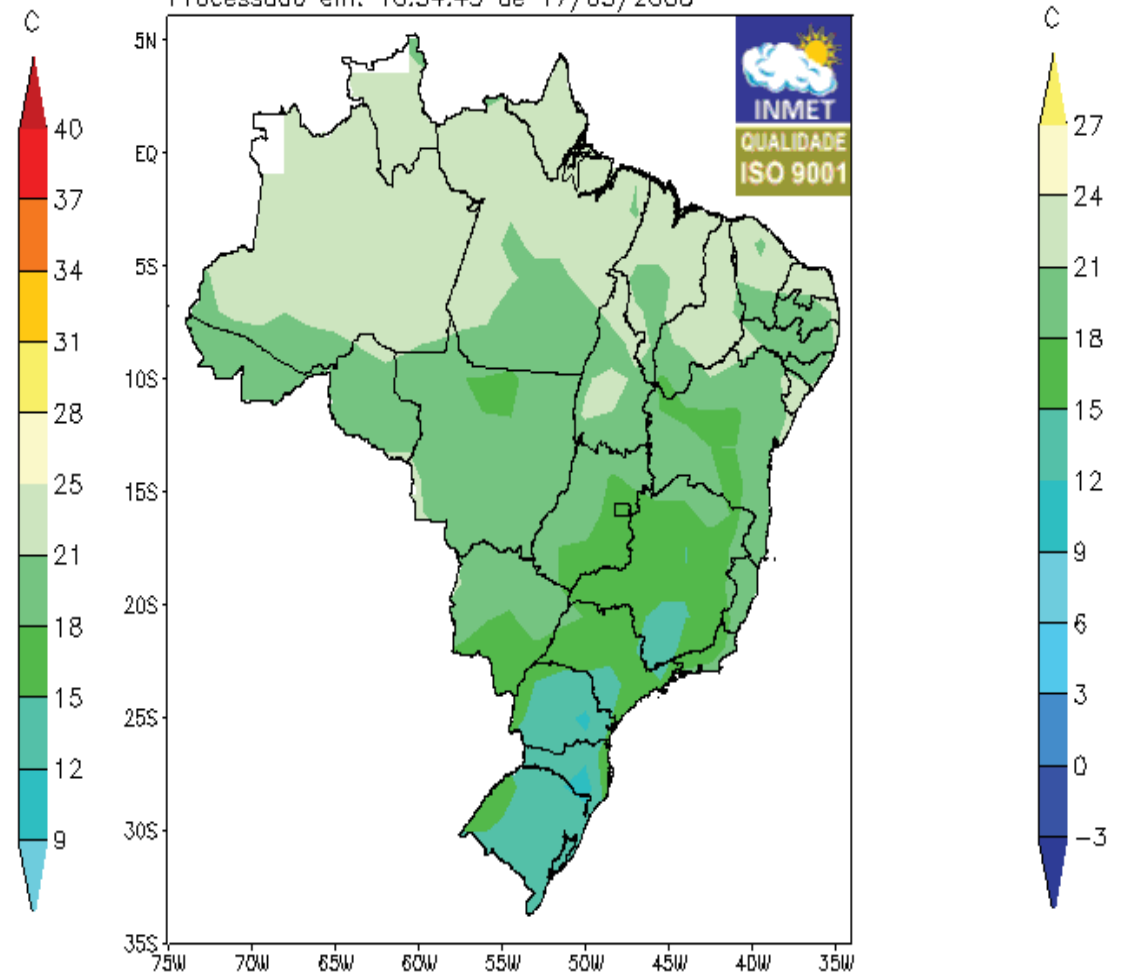


Temperaturas Máximas e Mínimas

Temperatura Máxima
Estação Climatológica/Agroclimatológica
Normais Climatológicas - 1961-1990 - Anual
Processado em: 10:34:44 de 17/03/2008

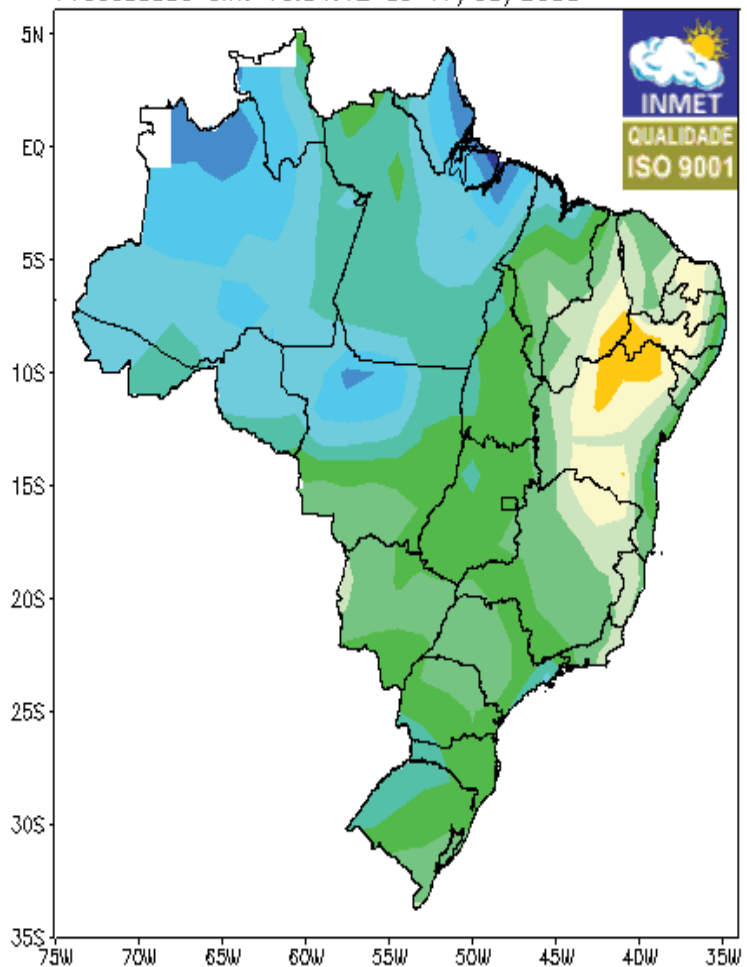


Temperatura Mínima
Estação Climatológica/Agroclimatológica
Normais Climatológicas - 1961-1990 - Anual
Processado em: 10:34:43 de 17/03/2008

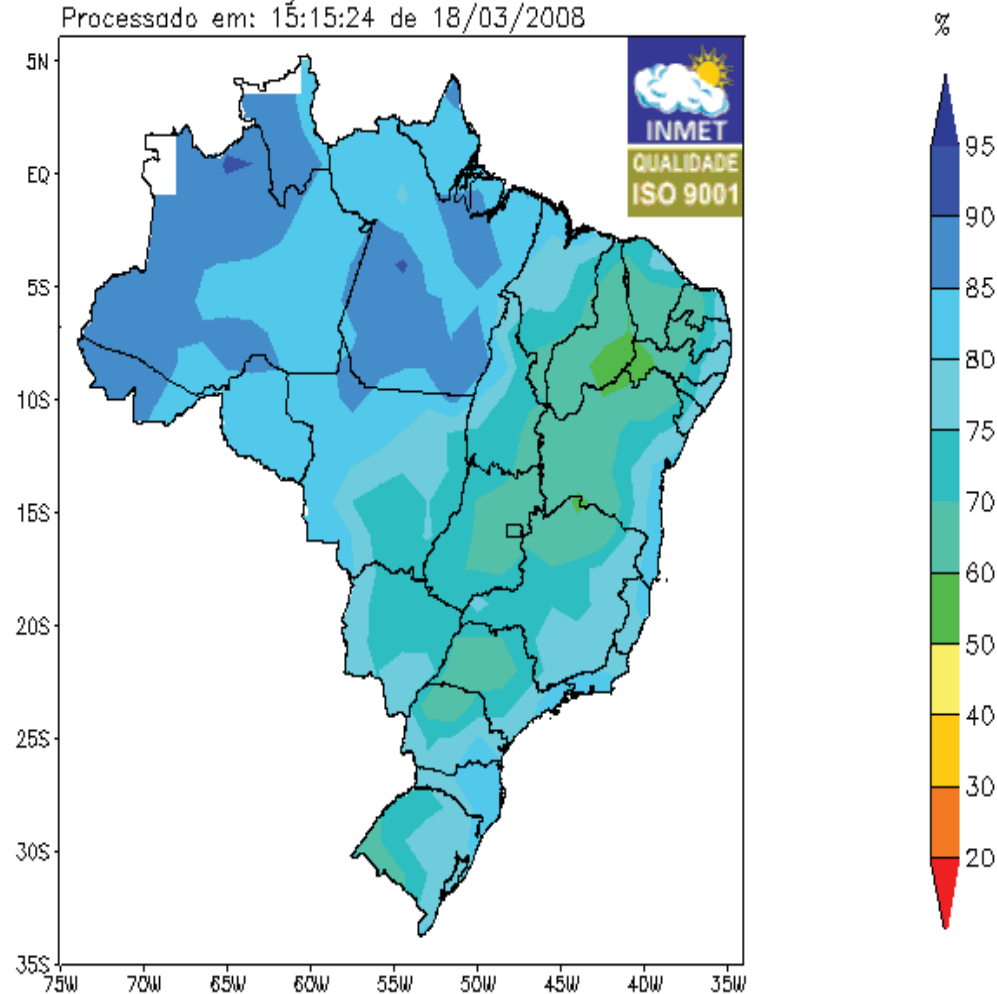


Chuva Acumulada e Umidade Relativa do Ar

Chuva acumulada
Estação Climatológica/Agroclimatológica
Normais Climatológicas - 1961-1990 - Anual
Processado em: 10:34:42 de 17/03/2008

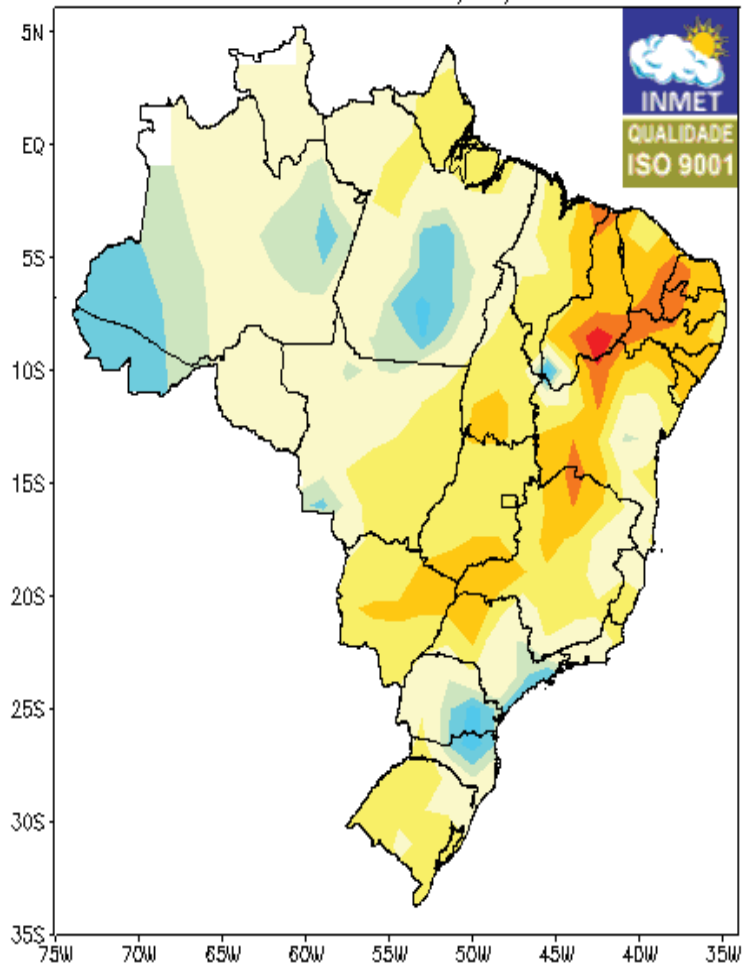


Umidade Relativa do Ar
Estação Climatológica/Agroclimatológica
Normais Climatológicas - 1961-1990 - Anual
Processado em: 15:15:24 de 18/03/2008

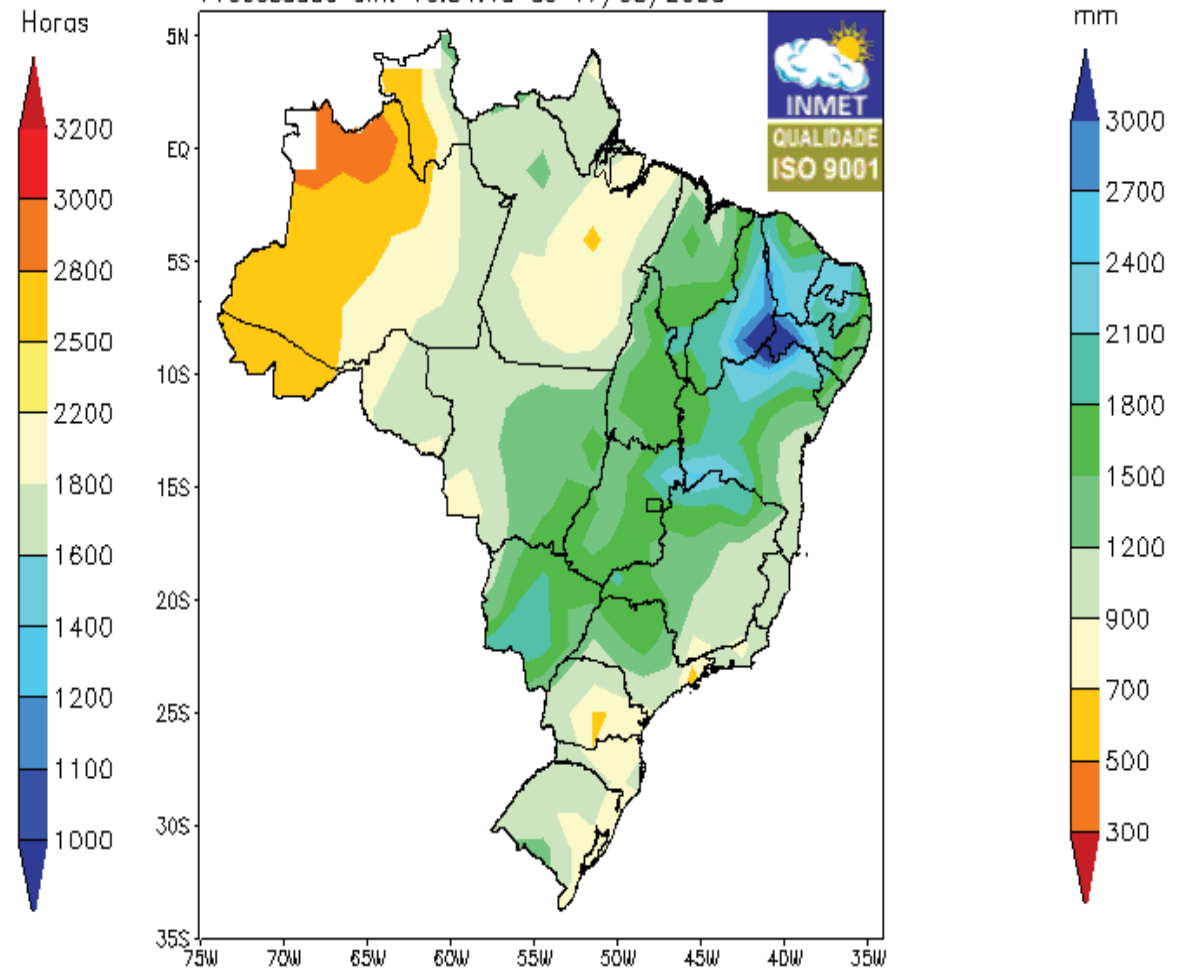


Insolação Total Anual e Evaporação do Piche

Insolação Total Anual
Estação Climatológica/Agroclimatológica
Normais Climatológicas - 1961-1990 - Anual
Processado em: 10:34:41 de 17/03/2008

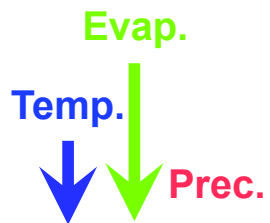


Evaporação do Piche
Estação Climatológica/Agroclimatológica
Normais Climatológicas - 1961-1990 - Anual
Processado em: 10:34:40 de 17/03/2008

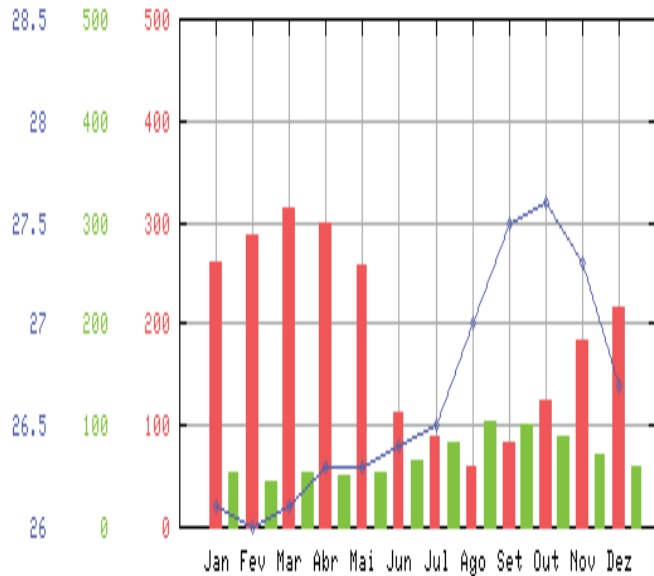


Região Norte

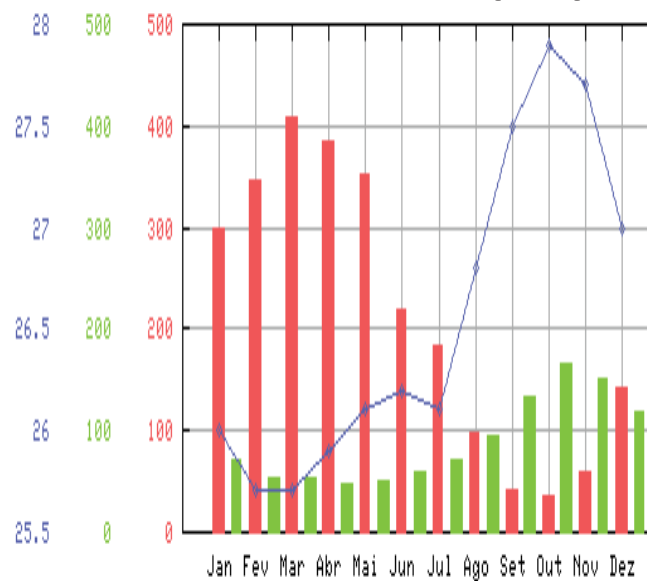
- Principais sistemas:
 - ZCIT;
 - Convecção local;
 - Linhas de instabilidade.



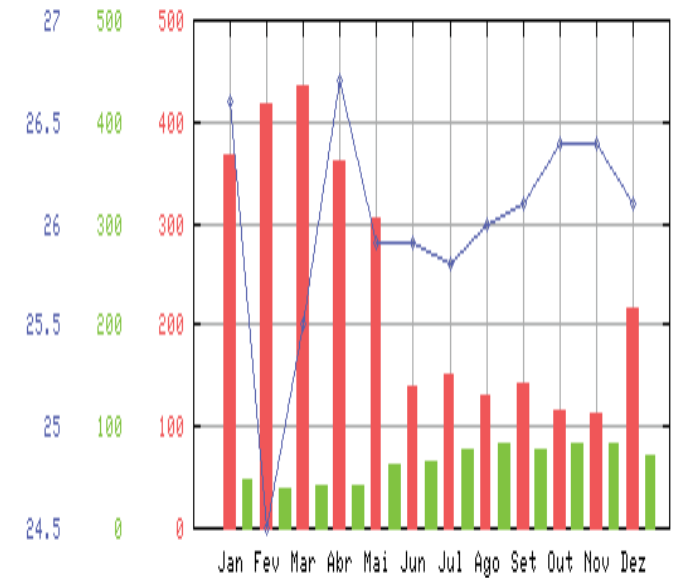
MANAUS (AM)



MACAPÁ (AP)



BELEM (PA)



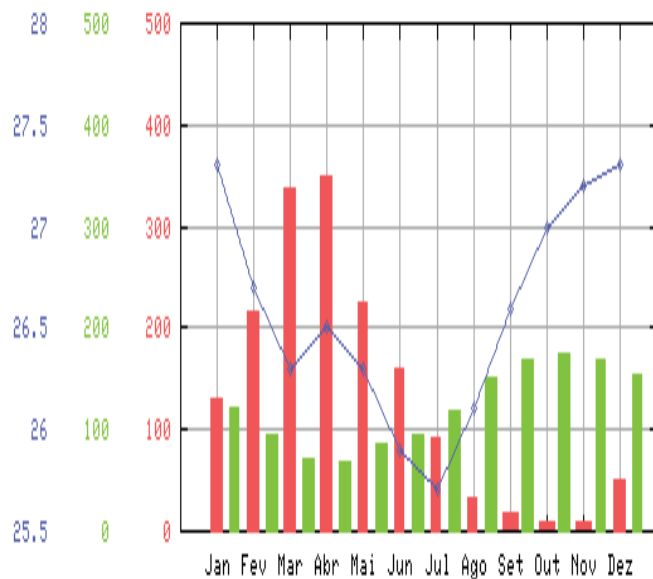
Região Nordeste (Norte)

- Principais sistemas:

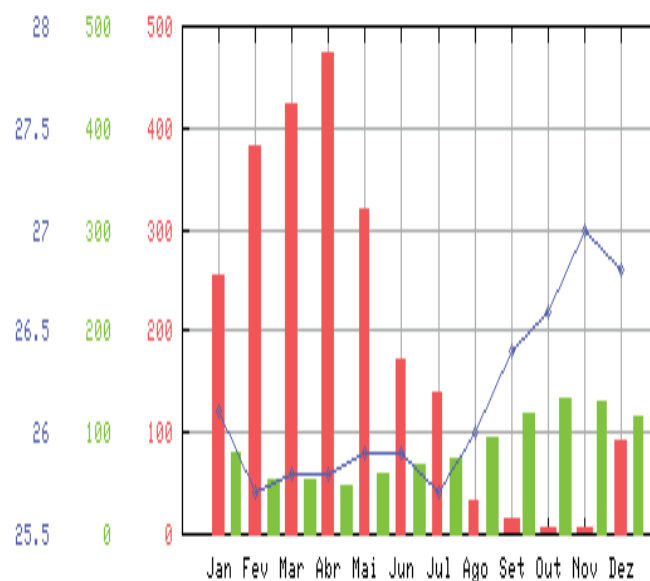
- ZCIT;
- Convecção local;
- Brisas;
- Ondas de leste.

Temp. ↓
Evap. ↓
Prec. ↓

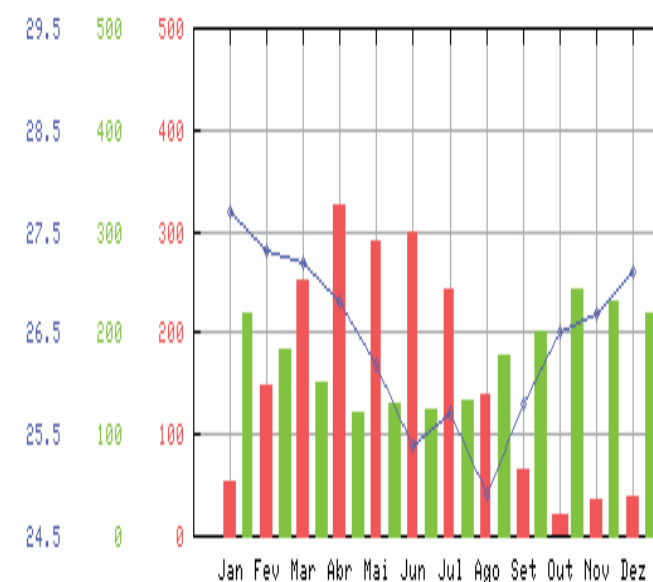
FORTALEZA (CE)



SÃO LUIS (MA)



NATAL (RN)

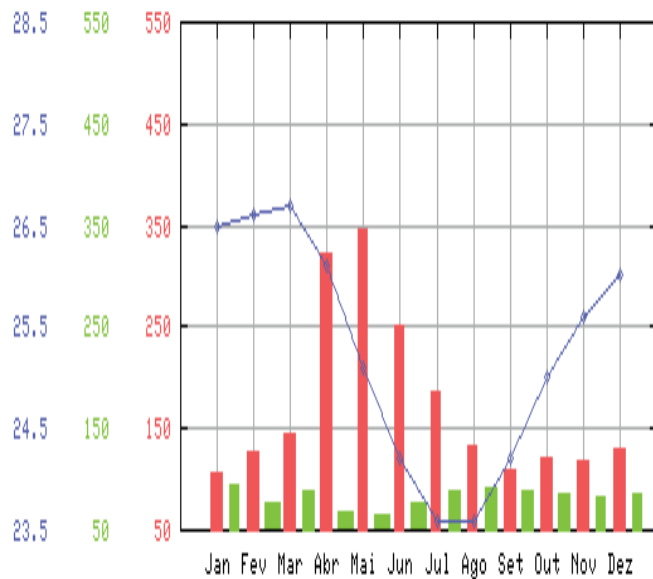


Região Nordeste (Leste e Sul)

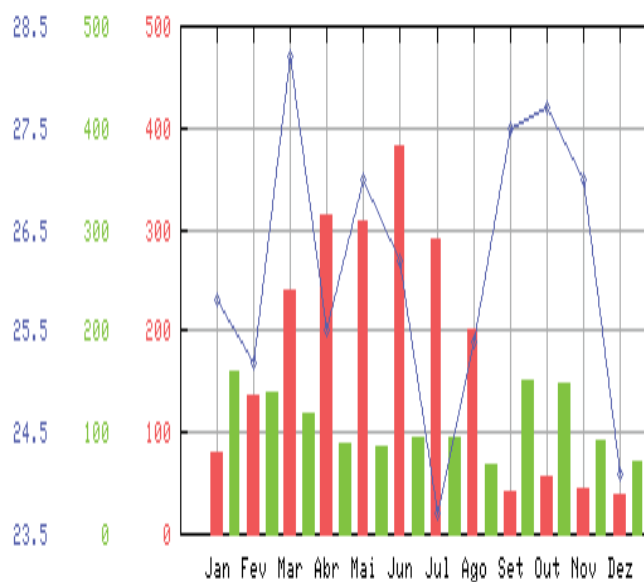
- Principais sistemas:
 - Brisas;
 - Ondas de leste;
 - Frente frias.

Temp. ↓
Evap. ↓
Prec. ↓

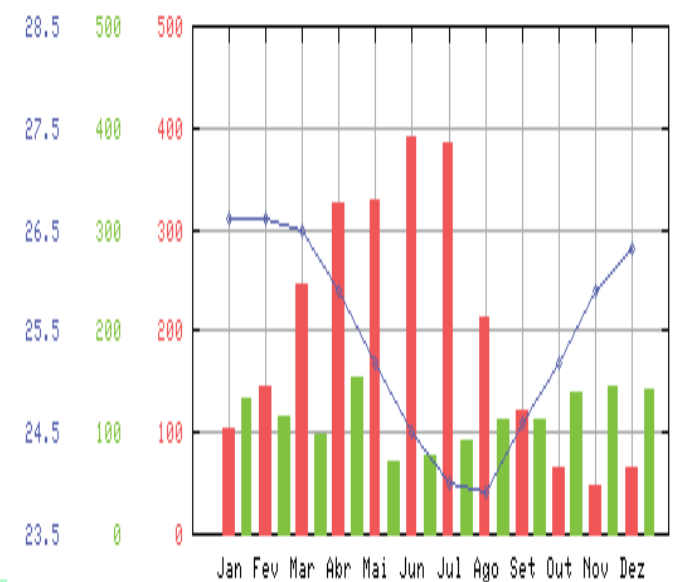
SALVADOR (BA)



JOÃO PESSOA (PB)



RECIFE (PE)

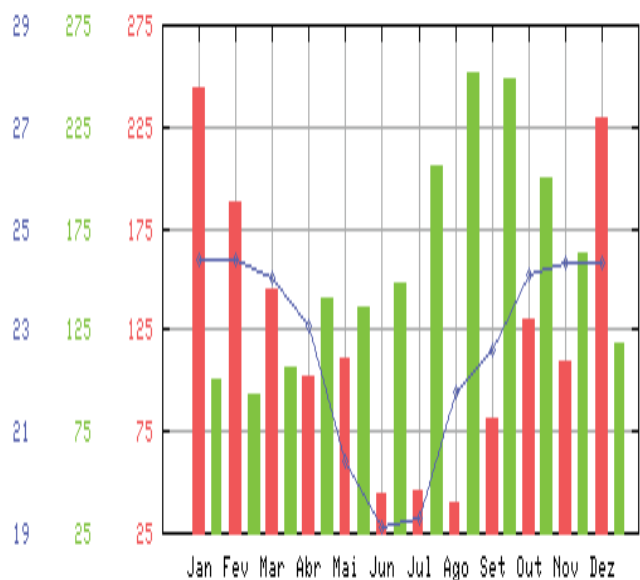


Região Central

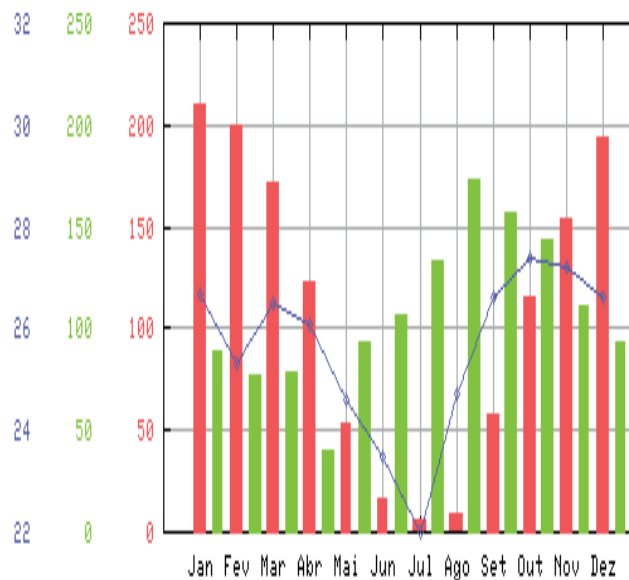
- Principais sistemas:
 - Convecção local;
 - Linhas de instabilidade;
 - Frente frias;
 - Célula de Hadley.

Temp. ↓
Evap. ↓
Prec. ↓

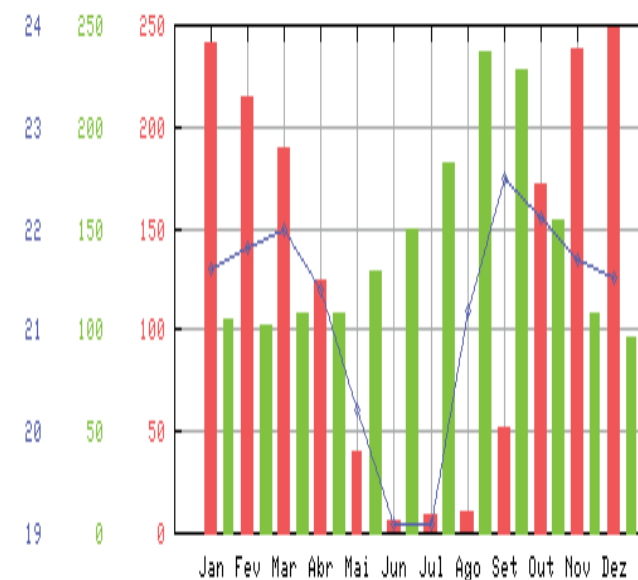
CAMPO GRANDE (MS)



CUIABA (MT)



BRASÍLIA (DF)

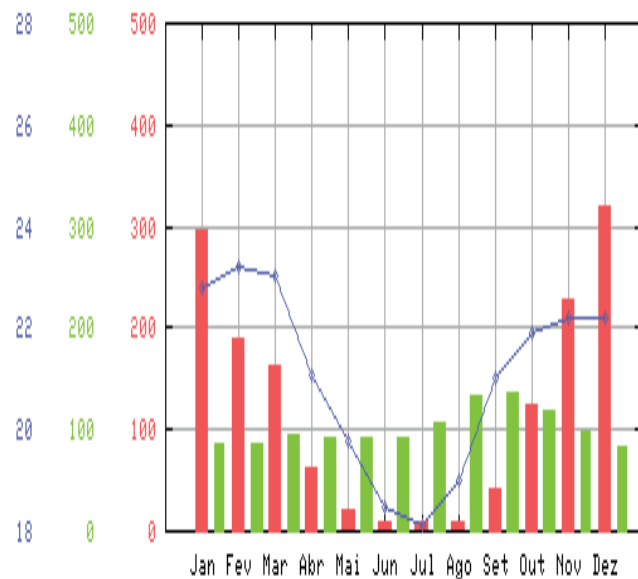


Região Sudeste

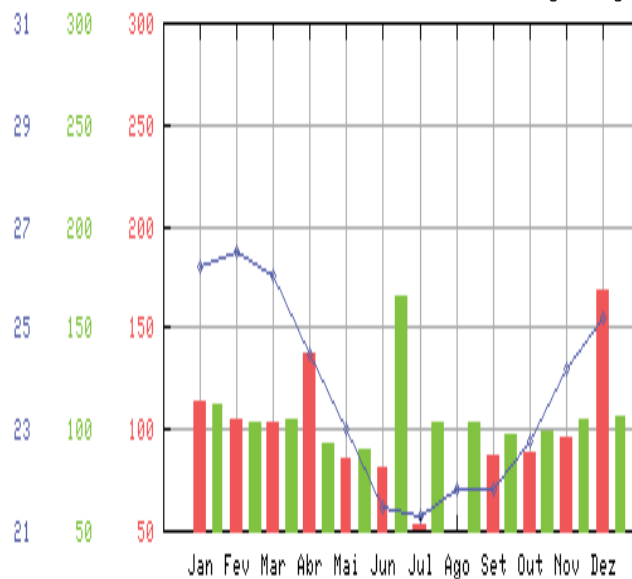
- Principais sistemas:
 - Linhas de instabilidade;
 - Frente frias;
 - Brisas;
 - ZCAS.

Temp. ↓
Evap. ↓
Prec. ↓

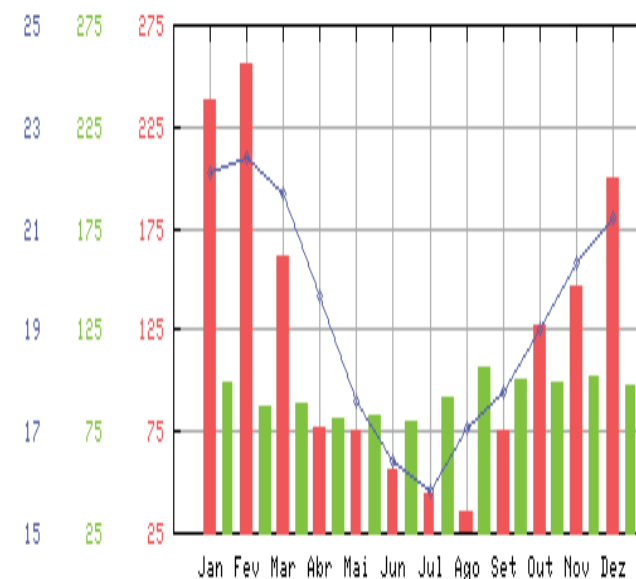
BELO HORIZONTE (MG)



RIO DE JANEIRO (RJ)



SÃO PAULO (SP)

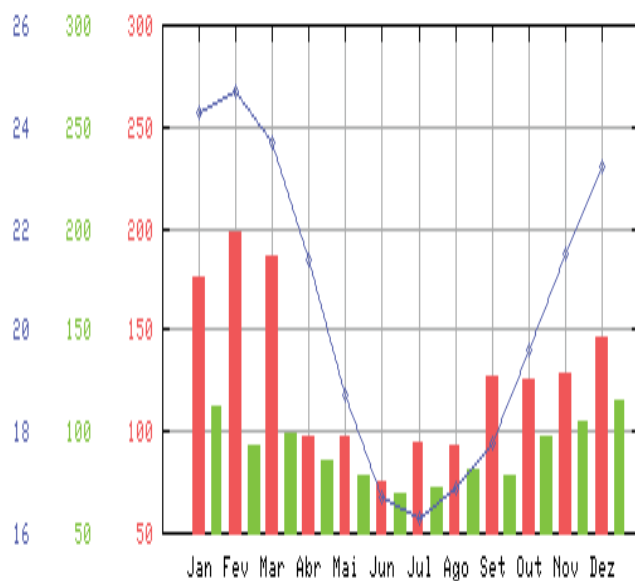


Região Sul

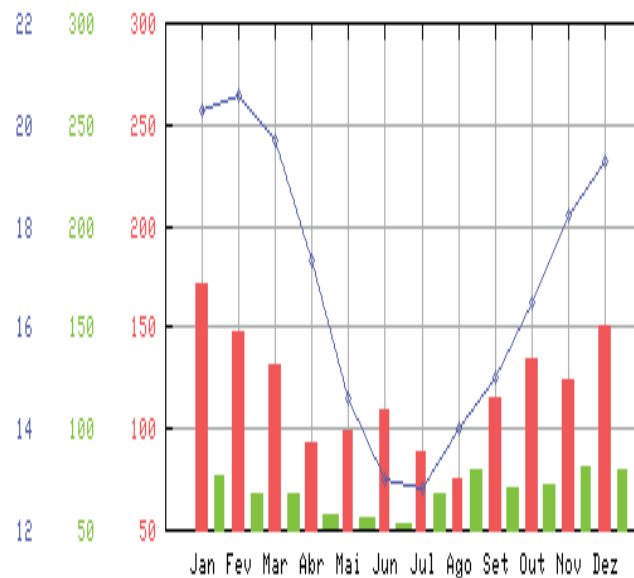
- Principais sistemas:
 - Linhas de instabilidade;
 - Frente frias;
 - Brisas.

Temp. ↓
Evap. ↓
Prec. ↓

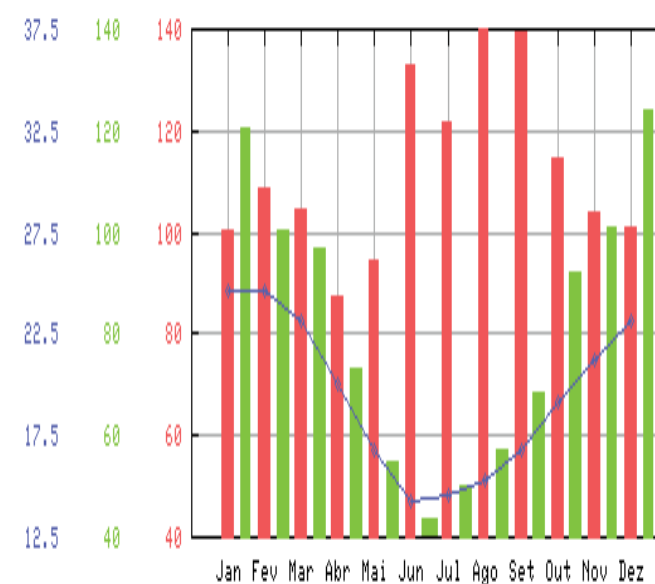
FLORIANÓPOLIS (SC)



CURITIBA (PR)



PORTO ALEGRE (RS)

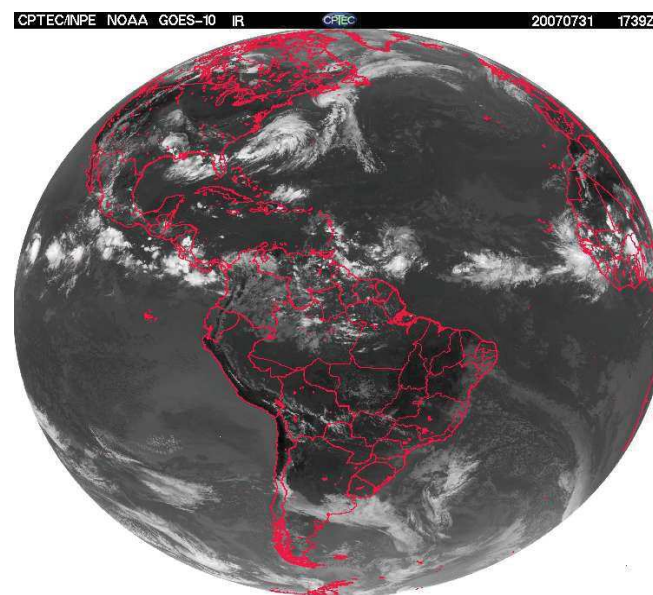
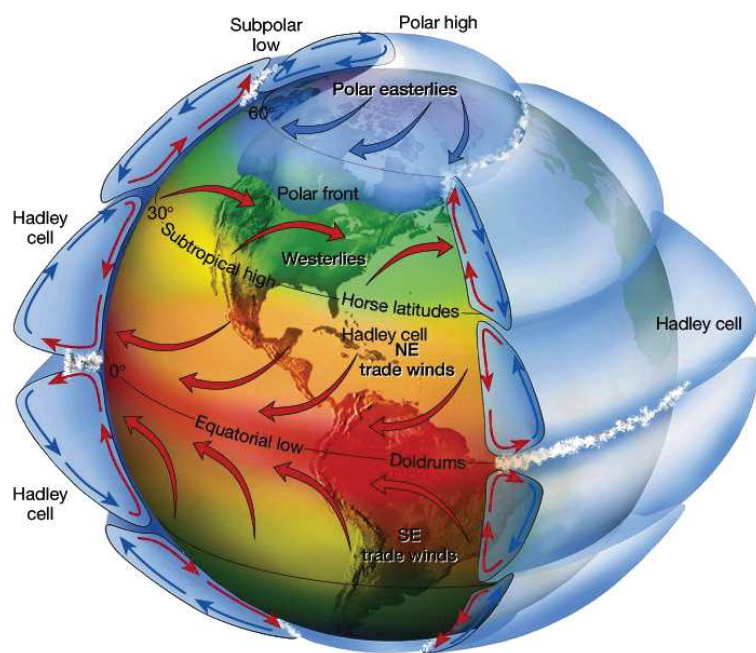


Efeitos da Circulação de Grande Escala



Clima do Brasil – Célula de Hadley

- **Célula de Hadley:** direção norte-sul;
- A **Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)** está localizada no ramo ascendente da célula de Hadley;
- Um dos sistemas meteorológicos mais importantes que atuam nos trópicos;
- Parte integrante da circulação de grande escala da atmosfera.



Clima do Brasil – Célula de Hadley

- A ZCIT é uma zona de baixa pressão e convergência dos alísios em baixos níveis;
- O conjunto de características que forma a ZCIT possui um deslocamento latitudinal no decorrer do ano e varia de acordo com o movimento aparente do Sol;
- A ZCIT tem uma dependência direta com o aquecimento da superfície, estando sempre mais próxima do hemisfério de verão;
- Alcança a posição média mais ao sul ($\sim 1^{\circ}\text{S}$) nos meses de março e abril e mais ao norte ($\sim 8^{\circ}\text{N}$) nos meses de agosto e setembro (Uvo, 1989);
- Além da oscilação sazonal, a ZCIT apresenta oscilações com maiores frequências com períodos variando de semanas a dias.

Clima do Brasil – Célula de Hadley

1974 (JANEIRO)

```
I-25-23-24-28-34-38-42-45-46-47-48-50-51-49-43-35-27
I-25-23-24-28-34-38-42-45-46-47-48-50-51-49-43-35-27
I-29-30-33-37-41-45-45-44-43-43-45-46-46-40-33-24-15
I-29-30-33-37-41-45-45-44-43-43-45-46-46-40-33-24-15
I-35-37-40-44-48-50-47-45-44-44-45-44-41-34-23-13
I-35-37-40-44-48-50-47-45-44-44-45-44-41-34-23-13
I-38-39-41-45-48-49-48-45-44-44-45-42-36-26-15
I-38-39-41-45-48-49-48-45-44-44-45-42-36-26-15
I-36-39-41-45-48-49-48-45-44-44-45-42-36-26-15
I-36-39-41-45-48-49-48-45-44-44-45-42-36-26-15
I-37-36-35-37-39-40-40-37-36-36-36-33-26-17
I-37-36-35-37-39-40-40-37-36-36-36-33-26-17
I-31-26-25-25-25-25-23-22-21-20-20-17-11-7-3-1
I-31-26-25-25-25-25-23-22-21-20-20-17-11-7-3-1
I-20-17-16-14-13-11-8-6-3-2-2
I-20-17-16-14-13-11-8-6-3-2-2
```

55W

1974 (FEVEREIRO)

```
I-30-34-35-34-34-37-43-47-50-50-48-45-46-47-43-37-31
I-30-34-35-34-34-37-43-47-50-50-48-45-46-47-43-37-31
I-36-37-39-40-42-44-48-52-52-50-46-44-43-41-36-28-19
I-36-37-39-40-42-44-48-52-52-50-46-44-43-41-36-28-19
I-44-43-43-46-49-53-55-57-54-50-45-43-41-36-29-20-11
I-44-43-43-46-49-53-55-57-54-50-45-43-41-36-29-20-11
I-52-49-47-50-54-58-60-59-54-49-44-41-38-32-23-14
I-52-49-47-50-54-58-60-59-54-49-44-41-38-32-23-14
I-57-52-48-49-52-55-55-52-48-43-39-36-31-25-16-7
I-57-52-48-49-52-55-55-52-48-43-39-36-31-25-16
I-56-48-42-41-40-40-39-38-36-33-30-25-20-15-7
I-56-48-42-41-40-40-39-38-36-33-30-25-20-15
I-51-38-31-26-22-19-18-18-17-17-15-11-8-3
I-51-38-31-26-22-19-18-18-17-17-15-11-8-3
```

55W

1974 (MARÇO)

```
I-20-24-26-27-29-33-39-45-47-49-50-55-61-67-67-63-55
I-20-24-26-27-29-33-39-45-47-49-50-55-61-67-67-63-55
I-27-33-37-38-38-40-45-50-52-53-52-52-56-59-56-48-37-25
I-27-33-37-38-38-40-45-50-52-53-52-52-56-59-56-48-37-25
I-38-44-48-47-46-49-52-56-56-54-54-55-53-46-35-22-13
I-38-44-48-47-46-49-52-56-56-54-54-55-53-46-35-22-13
I-48-52-54-54-52-51-52-53-55-57-56-56-55-50-39-25-13
I-48-52-54-54-52-51-52-53-55-57-56-56-55-50-39-25-13
I-54-54-53-54-53-52-52-51-51-52-51-52-50-44-33-19-8
I-54-54-53-54-53-52-52-51-51-52-51-52-50-44-33-19
I-54-49-46-48-49-47-44-42-41-39-39-41-40-33-23-12
I-54-49-46-48-49-47-44-42-41-39-39-41-40-33-23-12
I-48-40-38-39-37-32-28-25-24-25-26-24-18-10-2
I-48-40-38-39-37-32-28-25-24-25-26-24-18-10-2
```

55W

1974 (ABRIL)

```
I-18-22-27-33-35-36-38-39-38-38-44-50-56-57-52-44
I-18-22-27-33-35-36-38-39-38-38-44-50-56-57-52-44
I-24-31-30-34-45-41-40-41-42-41-39-40-43-46-43-36-26
I-24-31-30-34-45-41-40-41-42-41-39-40-43-46-43-36-26
I-33-40-49-53-51-45-43-43-44-44-40-37-36-33-29-21-13
I-33-40-49-53-51-45-43-43-44-44-40-37-36-33-29-21-13
I-41-47-53-57-55-49-45-48-48-42-35-30-25-19-12-6
I-41-47-53-57-55-49-45-48-48-42-35-30-25-19-12
I-44-47-52-56-55-50-47-49-52-50-44-34-27-20-14-8
I-44-47-52-56-55-50-47-49-52-50-44-34-27-20-14
I-43-43-47-51-51-47-47-50-51-48-41-32-22-16-11-7
I-43-43-47-51-51-47-47-50-51-48-41-32-22-16-11
I-38-39-41-43-43-41-42-44-44-41-35-26-17-10-6
I-38-39-41-43-43-41-42-44-44-41-35-26-17-10
```

55W

1974 (MAIO)

```
I-14-18-21-22-23-22-25-29-32-34-34-38-43-45-41-32
I-14-18-21-22-23-22-25-29-32-34-34-38-43-45-41-32
I-22-27-30-31-30-29-30-32-33-34-34-36-38-37-31-20
I-22-27-30-31-30-29-30-32-33-34-34-36-38-37-31-20
I-30-33-36-37-36-35-33-32-33-33-33-34-34-31-24-14
I-30-33-36-37-36-35-33-32-33-33-33-34-34-31-24
I-35-36-36-37-38-38-35-32-30-30-31-31-26-19-11
I-35-36-36-37-38-38-35-32-30-30-31-31-26-19-11
I-36-34-33-34-37-38-35-31-28-25-26-24-19-14-9
I-36-34-33-34-37-38-35-31-28-25-26-24-19-14
I-33-38-28-29-32-34-32-28-23-20-19-18-14-10-7
I-33-38-28-29-32-34-32-28-23-20-19-18-14-10
I-29-25-23-24-25-25-24-21-18-14-12-8-3
I-29-25-23-24-25-25-24-21-18-14-12-8-3
```

55W

1974 (JUNHO)

```
I-26-27-30-33-37-41-44-46-45-41-37-37-37-35-30-23-15
I-26-27-30-33-37-41-44-46-45-41-37-37-37-35-30-23-15
I-37-38-40-44-48-51-52-51-45-38-31-27-25-23-19-13-7
I-37-38-40-44-48-51-52-51-45-38-31-27-25-23-19-13
I-42-44-44-46-49-52-52-48-41-32-25-18-13-10-7-4-2-1
I-42-44-44-46-49-52-52-48-41-32-25-18
I-41-41-37-36-36-37-37-35-30-23-15
I-41-41-37-36-36-37-37-35-30-23-15
I-35-29-23-18-14-13-13-13-13-9-9-1
I-35-29-23
I-26-14-8
I-26-14-8
I-20-8
```

55W

Flutuação da ZCIT entre janeiro e junho. O ano de 1974 foi um muito chuvoso no Ceará.

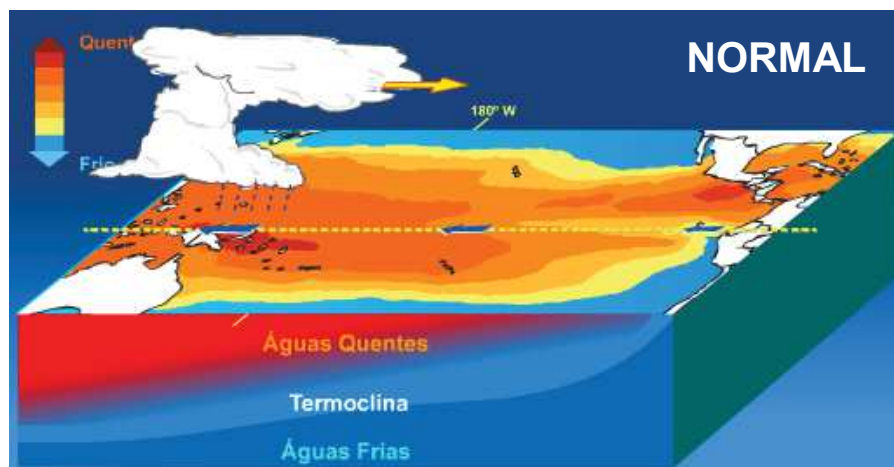
Fonte: Xavier et al, 2000.

Clima do Brasil – Célula de Hadley

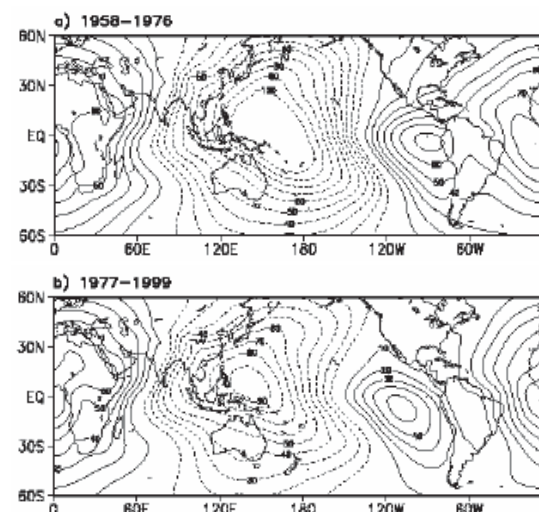
- Influencia a precipitação nas áreas tropicais dos continentes africano, americano e asiático (*Hastenrath e Heller, 1977; Lamb, 1978*);
- Um dos principais sistemas geradores de precipitação na Região Norte e Nordeste do Brasil;
- Máximo de precipitação sobre o Norte e Nordeste do Brasil ocorre em março e abril, época que a ZCIT atinge suas posições mais ao sul;
- Essa variação na posição da ZCIT pode resultar em períodos de estiagem ou de chuvas intensas sobre o sertão nordestino durante a estação chuvosa (FMAM) (*Kousky, 1985*);
- Nas regiões equatoriais, define-se estação seca e chuvosa ao invés de estação de verão, outono, inverno e primavera.

Clima do Brasil – Célula de Walker

- **Célula de Walker:** direção leste-oeste;
- Um dos sistemas meteorológicos mais importantes que atuam nos trópicos;
- Parte integrante da circulação de grande escala da atmosfera;
- Parte da variabilidade climática é impulsionada pelas variações dessas circulações (Hadley-Walker) em várias escalas de tempo (ex. escala interanual – ENSO, escala decenal – PDO).



Circulação de Walker.
Fonte: <http://enos.cptec.inpe.br/anima/normal.html>



Circulação de Walker: (a) 1958-1976 e (b) 1977-1999. As unidades são $10^5 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$. Fonte: Garcia e Kayano, 2006.

Clima do Brasil – Célula de Walker

Situação de El-Niño:

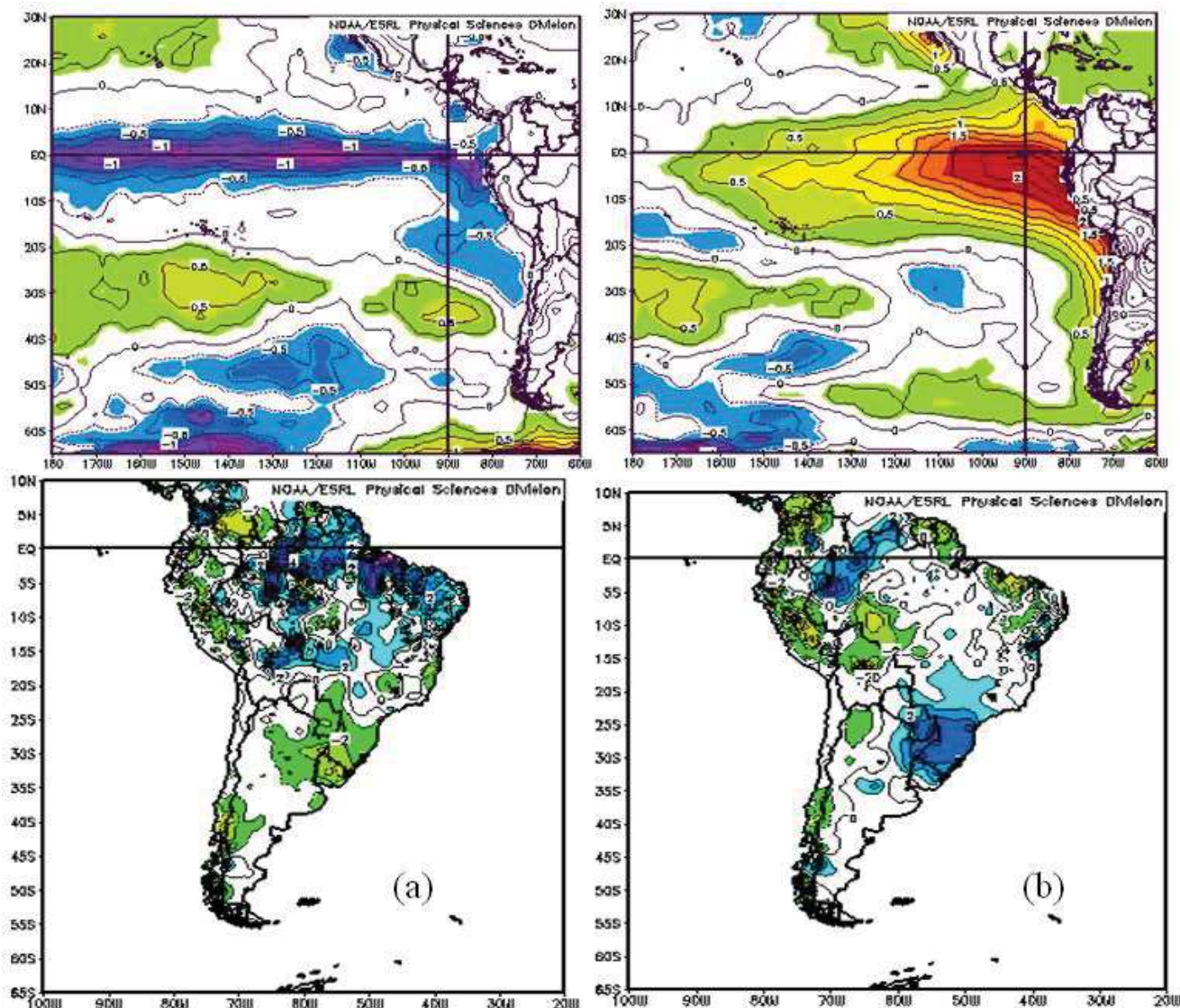
- o ramo descendente da Célula de Walker se desloca para a região sobre a Amazônia Central inibindo a convecção;
 - os ventos alísios de nordeste estão mais fracos, diminuindo o fluxo de umidade vinda dos oceanos que penetra na região Amazônica.
 - ventos alísios de nordeste enfraquecidos → ZCIT posicionada mais ao norte em relação à posição climatológica → anos secos na região Norte e Nordeste do Brasil.
- em anos de El Niño, a Região Nordeste do Brasil fica localizada na região preferencialmente de subsidência (ao sul da ZCIT) que inibe a precipitação.

Animação: http://enos.cptec.inpe.br/anima/el_nino.html

Clima do Brasil – Célula de Walker

Situação de El Niño/La Niña:

Anomalia de TSM: La Niña 1988-89 e El Niño 1997-98. (*Amaro e Molion, 2008*).



Desvios de precipitação em cm/mês: La Niña 1988-89 e El Niño 1997-98 (*Amaro e Molion, 2008*)

Efeitos dos Sistemas Sinóticos Atuantes



Clima do Brasil – Sistemas Sinóticos

Sistemas Sinóticos Atuantes:

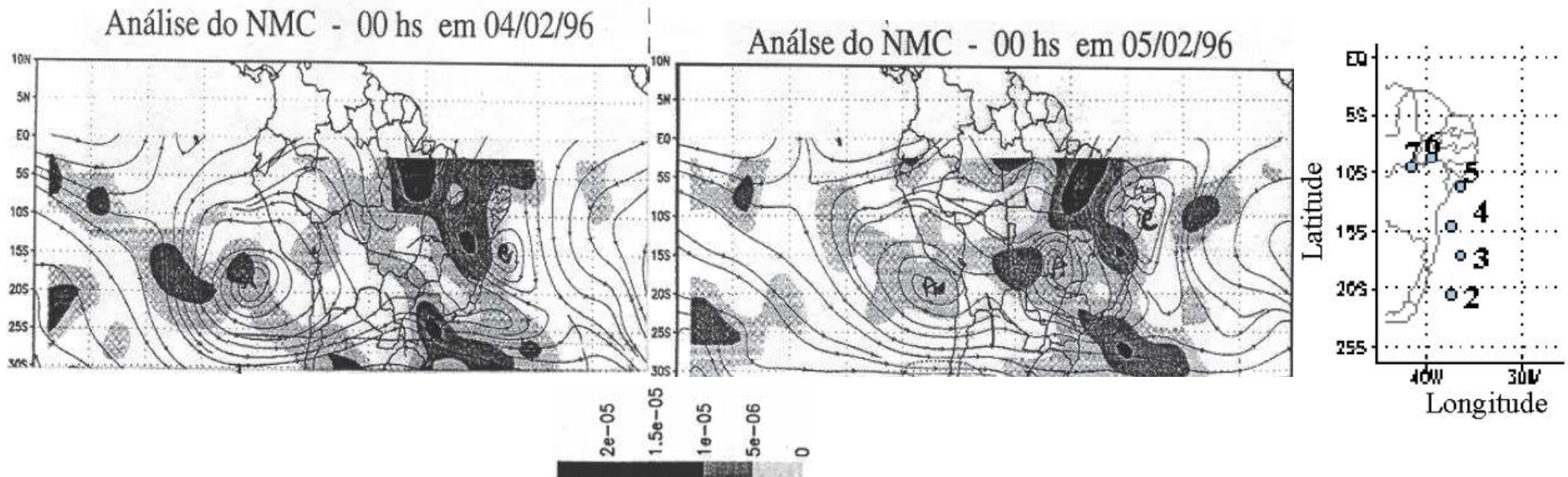
- Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN);
- Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS);
- Sistemas associados à instabilidade do Jato Subtropical;
- Sistemas frontais;
- Ciclones;
- Bloqueios.

Sistemas Sub-Sinóticos Atuantes:

- Jatos de Baixos Níveis (JBN);
- Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM)

Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

- Trajetórias irregulares: para leste (oeste) quando no sul (mais ao norte).



Escoamento no nível de 250hPa nos dias 04 e 05 de fevereiro de 1996.

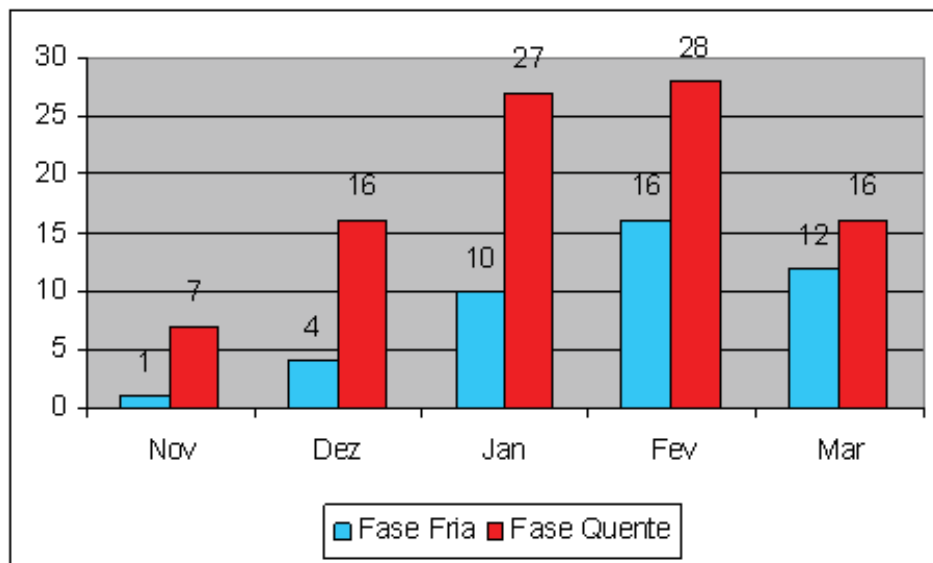
Fonte: Climanálise especial, 1996.

Trajetória do vórtice ciclônico em altos níveis no período de 02-07 de fevereiro de 1996. A posição do centro do vórtice está indicada pelos círculos com os respectivos dias de ocorrência.

Fonte: Climanálise especial, 1996.

Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

- VCANs do tipo Pálmer ocorrem durante a estação seca, preferencialmente entre os meses de novembro a março (*Gan, 1983*). O verão é a estação onde ocorre maior frequência de formação desse sistema (*Kousky e Gan, 1981*).



Ocorrência de VCANs do tipo Pálmer que se formaram sobre o Oceano Atlântico e atingiram o NEB. Fase fria da ODP (1950-1976) e fase quente (1977-1999) (Vaz e Molion, 2008).

Ano/MÊS	87	88	89	90	91	92	93	94	95	Média mensal
JAN	3	2	3	3	3	-	2	3	2	3,0
FEV	2	1	2	2	1	2	3	3	2	2,1
MAR	1	1	-	0	1	1	2	1	1	1,0
ABR	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0,4
AGO	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,1
SET	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0,1
OUT	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0,5
NOV	0	2	0	1	-	-	1	1	1	0,8
DEZ	3	3	2	0	1	0	2	2	3	1,7

Frequência mensal e média mensal dos VCANs sobre a Região Nordeste do Brasil em 1987-1995.

Fonte: Climanálise especial, 1996.

Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

- VCANs do tipo Pálmen ocorrem o ano inteiro no Pacífico Sudeste, sendo o inverno a estação de maior frequência de formação desse sistema;
- A análise visual mostra que os vórtices próximos à Cordilheira dos Andes podem decair, dissipar completamente ou intensificar;

Mês	Número/Ano	Número Dissip./Ano	Número Atlântico/Ano
Janeiro	3.1	1.6	1.5
Fevereiro	2.7	1.1	1.6
Março	2.4	1.1	1.3
Abril	3.6	1.6	2.0
Mai	3.8	1.5	2.3
Junho	4.0	1.5	2.5
Julho	4.4	1.4	3.0
Agosto	4.3	1.9	2.4
Setembro	3.3	1.2	2.1
Outubro	3.2	1.0	2.2
Novembro	3.1	1.1	2.0
Dezembro	2.9	1.1	1.8
Total	40.8	16.1	24.7

Climatologia com imagens de satélite e análises operacionais do ECMWF para um período de 10 anos, na área 0°-120°W e 0°-70°S. Fonte: Climanálise especial, 1996.

Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

- Em julho (março), em média, ocorre o maior (menor) número de formação de VCANs por ano e a maior (menor) frequência de VCANs que chegam até o Atlântico;
- Cerca de 60% do total de VCANs chegam até o Atlântico.
- Quanto à dissipação na costa oeste da AS, o mês de agosto (outubro) apresenta maior (menor) frequência.

Mês	Número/Ano	Número Dissip./Ano	Número Atlântico/Ano
Janeiro	3.1	1.6	1.5
Fevereiro	2.7	1.1	1.6
Março	2.4	1.1	1.3
Abril	3.6	1.6	2.0
Mai	3.8	1.5	2.3
Junho	4.0	1.5	2.5
Julho	4.4	1.4	3.0
Agosto	4.3	1.9	2.4
Setembro	3.3	1.2	2.1
Outubro	3.2	1.0	2.2
Novembro	3.1	1.1	2.0
Dezembro	2.9	1.1	1.8
Total	40.8	16.1	24.7

Climatologia com imagens de satélite e análises operacionais do ECMWF para um período de 10 anos, na área 0°-120°W e 0°-70°S. Fonte: Climanálise especial, 1996.

Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

- A vida média dos VCANs varia consideravelmente, uns duram apenas algumas horas, enquanto outros algumas semanas. (*Frank, 1970*);
- Possuem vida média de aproximadamente 7 dias, porém se estendem além quando mais intensos e profundos (*Gan e Kousky, 1986*).

Ano	Início	Término	Duração
1950	17/dez	25/dez	9 dias
1961	12/mar	20/mar	9 dias
1972	20/jan	27/jan	8 dias
1980	7/fev	26/fev	20 dias
1985	16/fev	23/fev	8 dias
1988	11/fev	23/fev	13 dia
1989	22/jan	31/jan	10 dias
1991	1/mar	15/mar	15 dias
1993	5/jan	18/jan	14 dias
1993	22/mar	31/mar	10 dias
1994	19/fev	27/fev	8 dias
1995	11/jan	24/jan	14 dias

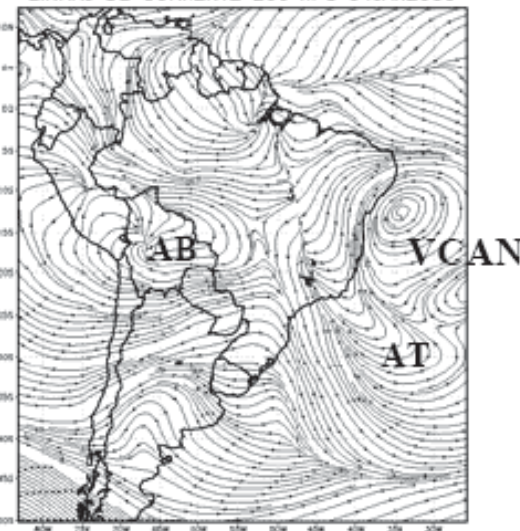
Catálogo dos VCANs do tipo Pálmer que se formaram sobre o Oceano Atlântico e atingiram o NEB com tempo de vida maior que 7 dias. Fase fria da PDO (1950-1976) e fase quente (1977-1999) (*Vaz e Molion, 2008*).

Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

- No verão, o padrão de circulação dos ventos em altos níveis sobre a região tropical da AS é mais meridional devido ao maior aquecimento do continente ocasionando um aumento da convecção sobre a região da Amazônia (*Silva Dias e Shubert, 1983*) e formação de um intenso anticiclone em 200hPa (Alta da Bolívia). Corrente abaixo da AB, surge um cavado sobre a região NEB cuja circulação pode fechar e formar um VCAN;



LINHAS DE CORRENTE 200 hPa 04JAN2000



VORTICIDADE 200 hPa 04JAN2000

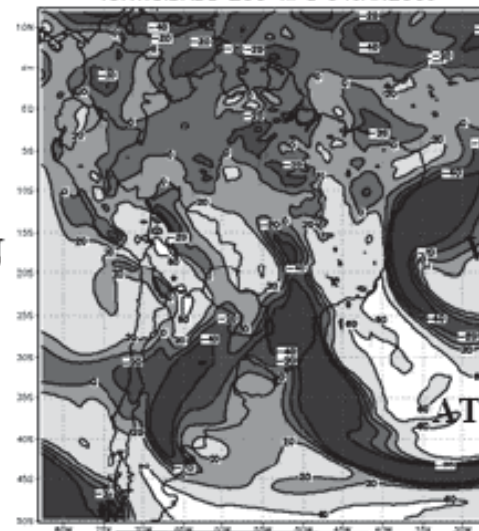


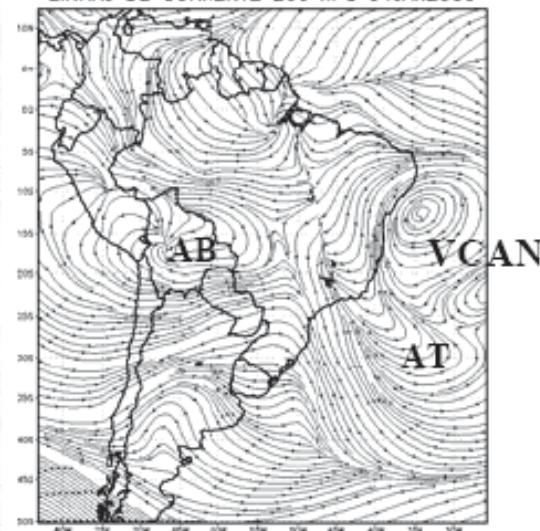
Imagem de satélite GOES-8 dia 04/01/2000 às 15:00UTC. Campo de linhas de corrente e vorticidade no nível de 200hPa. AT: crista bem pronunciada associada à alta subtropical do Atlântico Sul em altos níveis (*Ramirez et al., 2006*).

Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

- Sistemas que contribuem para o surgimento dos VCANs: AB, ASAS e ZCAS;
- Seu mecanismo de formação se baseia na amplificação de um cavado;
- Nebulosidade varia, mas em geral com céu claro no centro e Ci e Cb nas bordas;



LINHAS DE CORRENTE 200 hPa 04JAN2000



VORTICIDADE 200 hPa 04JAN2000

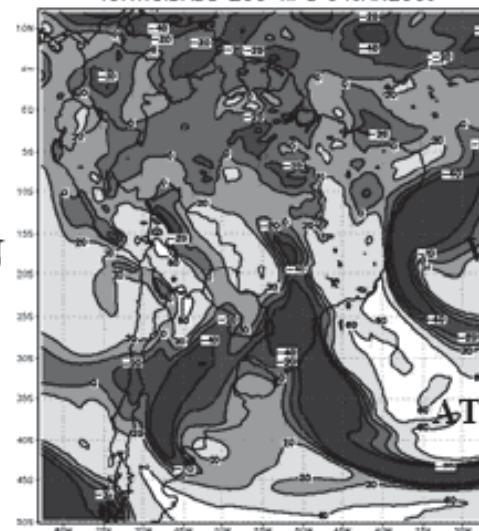


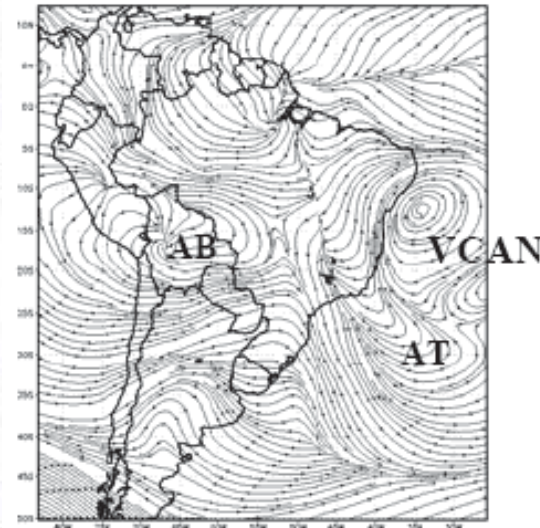
Imagem de satélite GOES-8 dia 04/01/2000 às 15:00UTC. Campo de linhas de corrente e vorticidade no nível de 200hPa. AT: crista bem pronunciada associada à alta subtropical do Atlântico Sul em altos níveis (Ramirez et al., 2006).

Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

- Apresenta núcleo relativamente frio e seco em relação a sua periferia, com subsidência que inibe a nebulosidade no seu centro e movimento ascendente de ar quente e úmido na sua periferia;
- Confinados na média e alta troposfera (máxima circulação ciclônica em 200hPa), pois cerca de 60% NÃO atingem o nível de 700hPa e em torno de 10% atingem a superfície (Frank, 1966);



LINHAS DE CORRENTE 200 hPa 04JAN2000



VORTICIDADE 200 hPa 04JAN2000

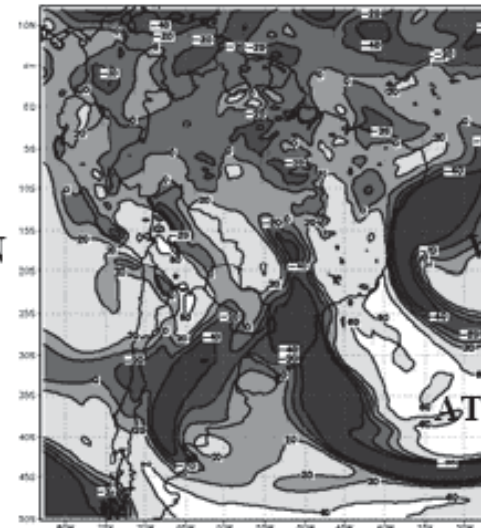


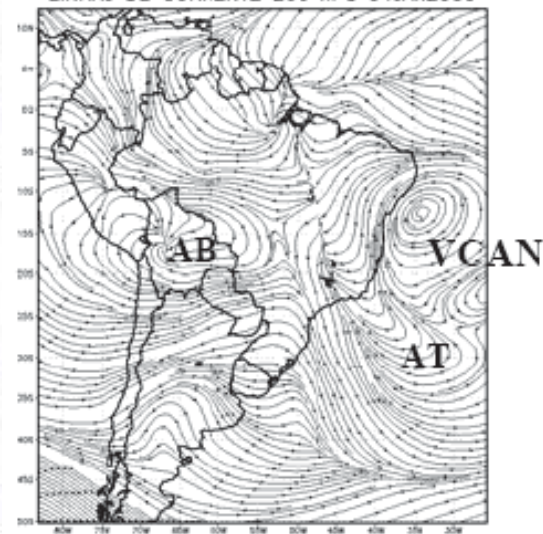
Imagem de satélite GOES-8 dia 04/01/2000 às 15:00UTC. Campo de linhas de corrente e vorticidade no nível de 200hPa. AT: crista bem pronunciada associada à alta subtropical do Atlântico Sul em altos níveis (Ramirez et al., 2006).

Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

- Sua circulação ciclônica surge na alta troposfera, estendendo-se gradualmente para os níveis mais baixos (*Gan, 1983*), podendo estar associados a ciclones de superfície ou mesmo promover ciclogênese;
- O VCAN impede o deslocamento dos sistemas frontais para o litoral do Nordeste, contribuindo para a permanência dos mesmos sobre a Região Sudeste onde causam precipitações persistentes (ZCAS).



LINHAS DE CORRENTE 200 hPa 04JAN2000



VORTICIDADE 200 hPa 04JAN2000

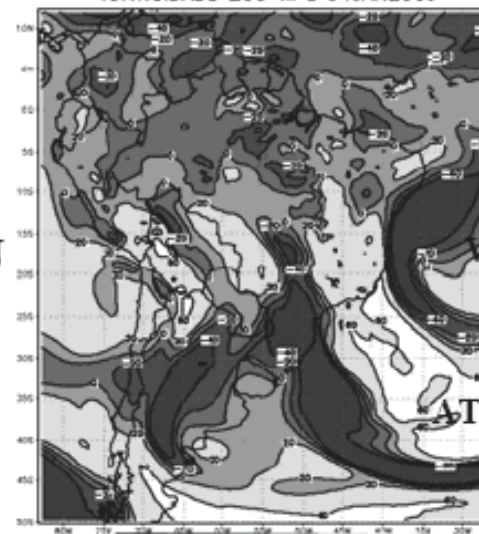
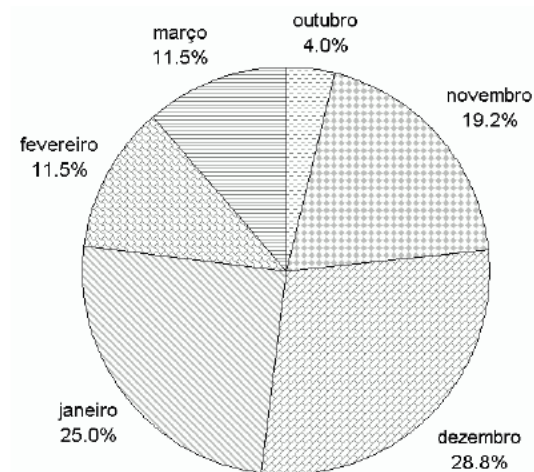
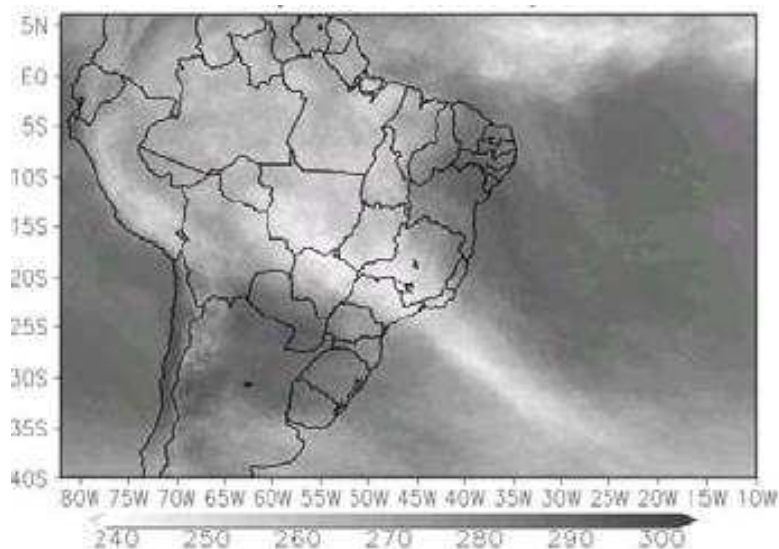


Imagem de satélite GOES-8 dia 04/01/2000 às 15:00UTC. Campo de linhas de corrente e vorticidade no nível de 200hPa. AT: crista bem pronunciada associada à alta subtropical do Atlântico Sul em altos níveis (*Ramirez et al., 2006*).

Zona de Convergência do Atlântico Sul

- Definida como uma persistente banda de nebulosidade e precipitação com orientação noroeste-sudeste, que se estende desde o sul e leste da Amazônia até o sudoeste do Oceano Atlântico Sul (*Kodama 1992, 1993; Satyamurti et al, 1998; Liebmann et al, 2001; Carvalho et al, 2002a, 2004*).
- Principal sistema responsável pelo regime de chuvas sobre as Regiões Sul e Sudeste do Brasil durante os meses de primavera e verão.

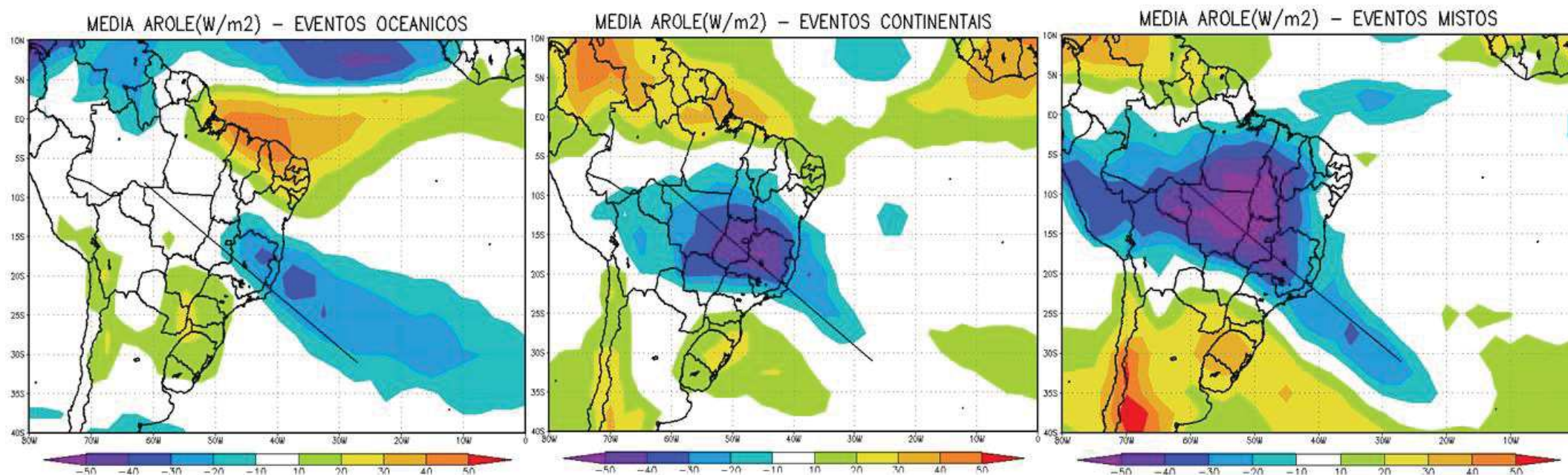
Temperatura de brilho média obtida pelo satélite GOES-12: de 01/01 a 08/01 de 2006.
Fonte: Seabra et al, 2006.



Porcentagem de eventos ZCAS compilados no período de 1995 e 2005 (48 eventos).
Fonte: Ferraz e Ambrizzi, 2006.

Zona de Convergência do Atlântico Sul

- Observações indicam evidente padrão de dipolo (padrão de gangorra (*Nogués-Paegle e Mo, 1997*)) entre as anomalias de precipitação nas Regiões Sul e Sudeste devido à influência da ZCAS: períodos chuvosos na Região Sudeste (Sul) e de veranico na Região Sul (Sudeste) estão associados à permanência prolongada da ZCAS sobre a Região Sudeste (Sul).

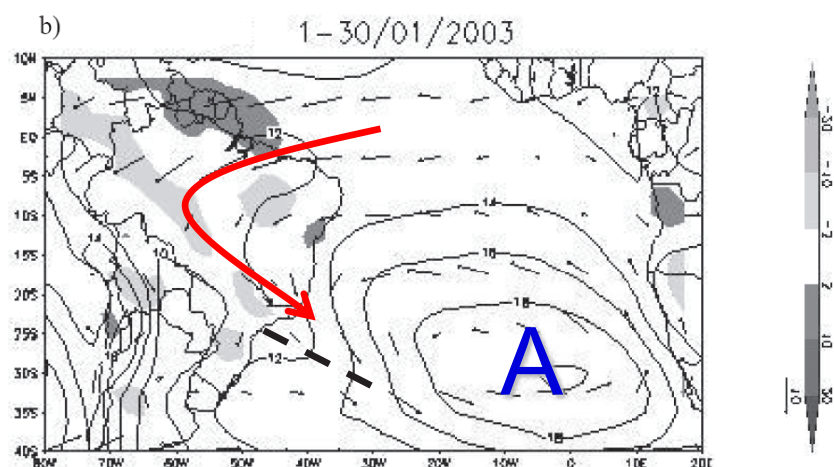
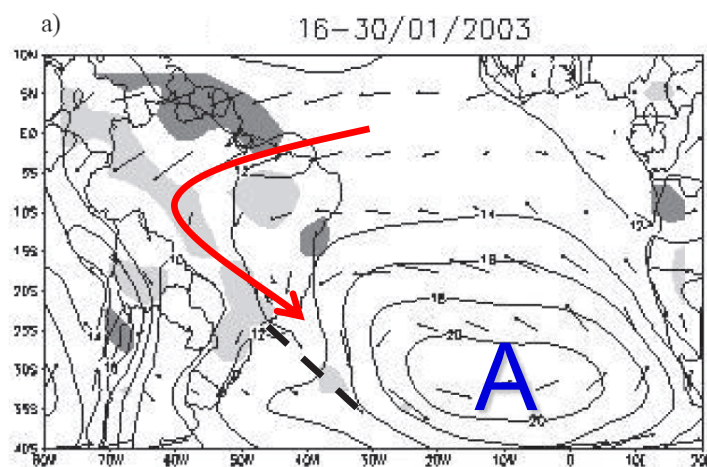


Composição de anomalias de OLR, agrupando os dois verões, para eventos ZCAS oceânicos, continentais e mistos.

Fonte: Andrade e Marton, 2008.

Zona de Convergência do Atlântico Sul

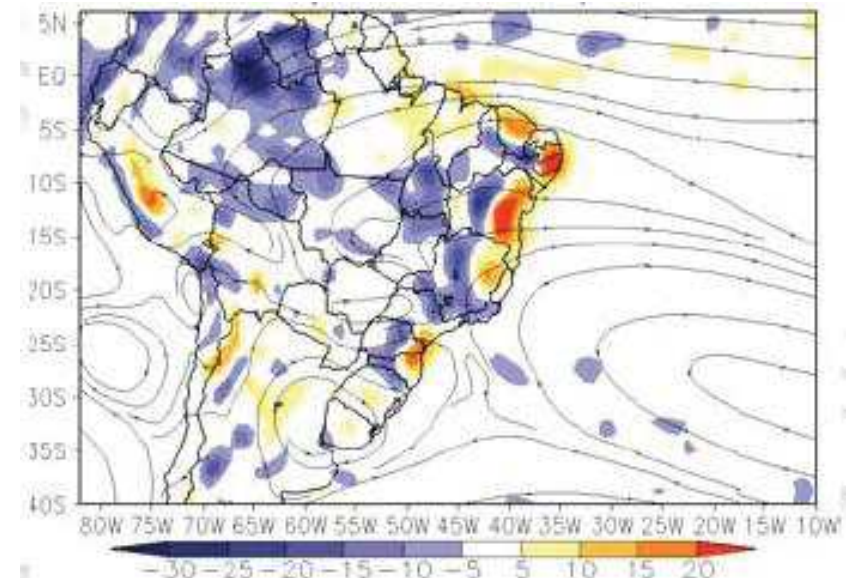
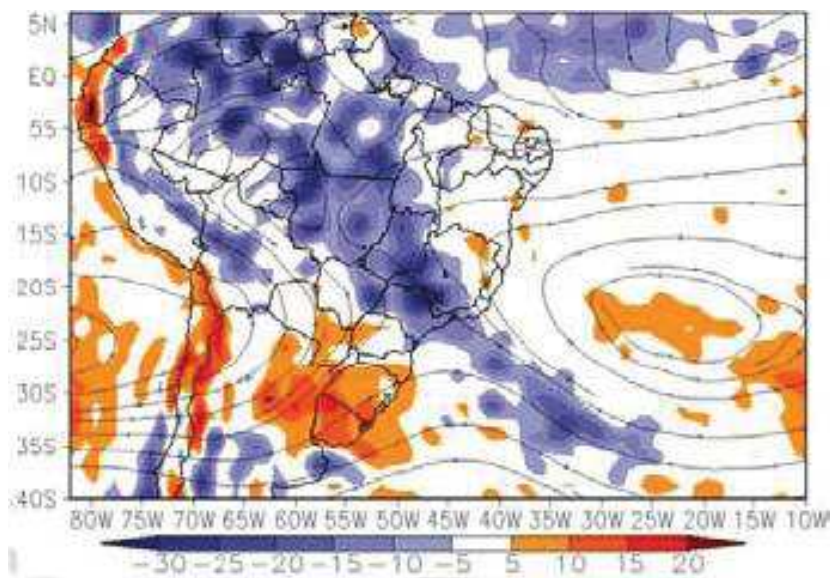
- Forte indício de confluência entre o ar da Alta Subtropical do Atlântico Sul e o ar oriundo de latitudes mais altas.
- Convergência de umidade na baixa troposfera.
- Presença de um cavado a leste da Cordilheira dos Andes, orientado na direção noroeste-sudeste em 850 hPa.
- Transporte de umidade em baixos níveis, manutenção da convecção pela convergência de umidade na baixa e na média troposfera e alto contraste de umidade (Kodama, 1992).



Média do vento (m/s) e da divergência de umidade específica (g/kg/dia; tons de cinza) em 850mb e da PNMM (mb) da reanálise do NCEP/NCAR para o período de 16 a 30/01/2003 e de 01 a 30/01/2003 (Chaves e Satyamurty, 2006).

Zona de Convergência do Atlântico Sul

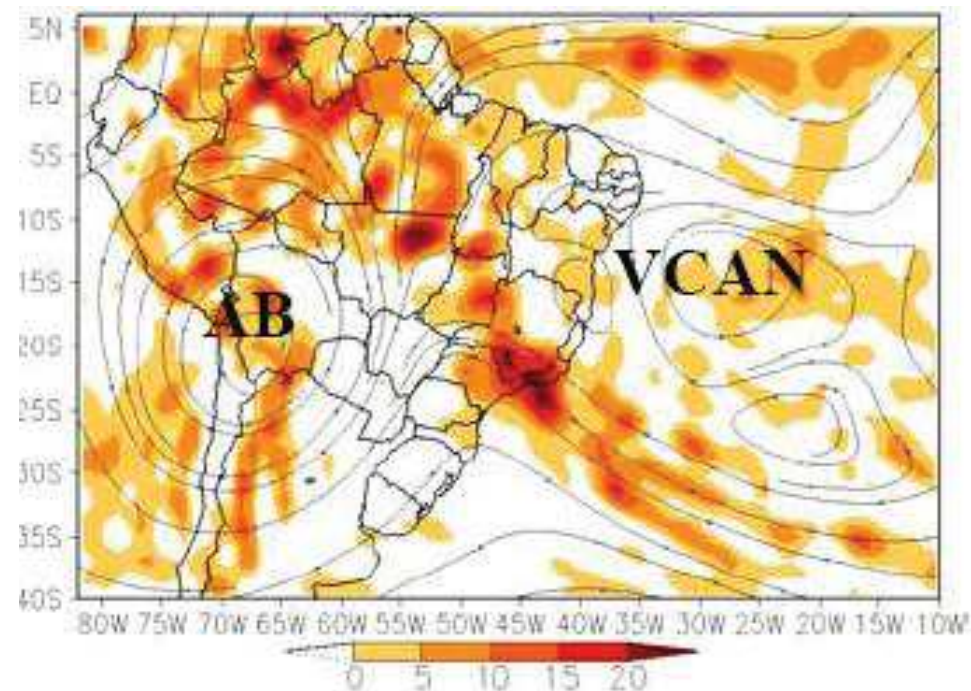
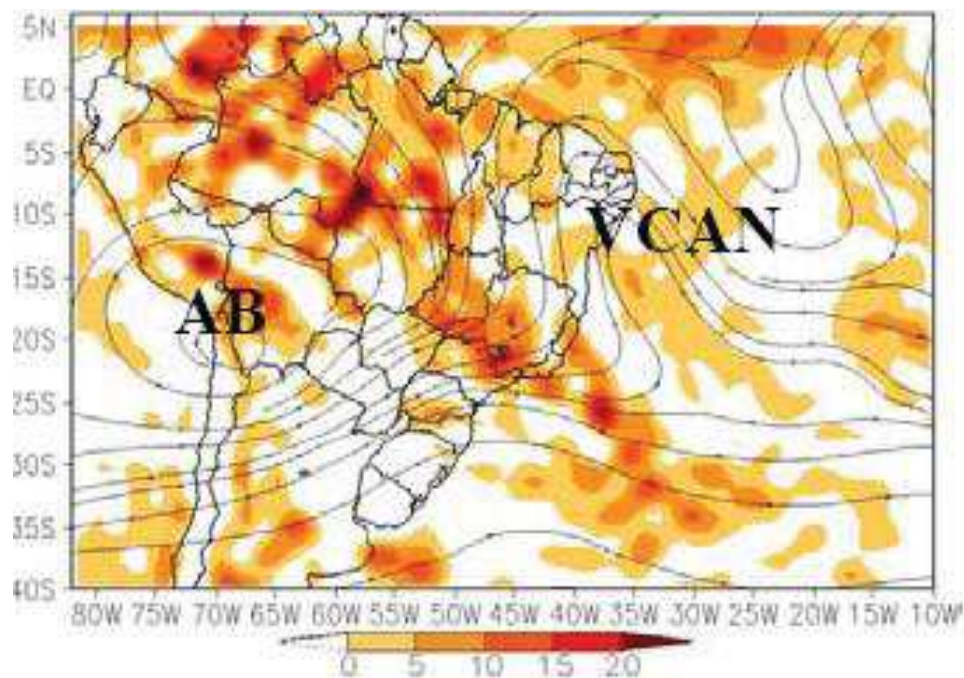
- Presença de um cavado a leste da Cordilheira dos Andes, associado a movimentos ascendentes orientado na direção noroeste-sudeste em 500 hPa, incentivando a divergência em níveis superiores;
- Permanência de uma banda de nebulosidade por no mínimo 4 dias estendendo-se do sul e leste da Amazônia até o sudoeste do Oceano Atlântico Sul (para não confundir com a entrada de um sistema frontal).



Campo médio de linha de corrente e omega no nível de 500mb: média de 01/01 a 08/01 e média de 27/01 a 02/02 de 2006 (Seabra et al, 2006).

Zona de Convergência do Atlântico Sul

- Presença da Alta da Bolívia em altos níveis e um cavado sobre a Região Nordeste do Brasil ou em determinadas situações um vórtice ciclônico e uma faixa de vorticidade anticiclônica em altos níveis (*Ferreira et al, 2004*);
- Divergência em níveis superiores.



Campo médio de linha de corrente e divergência do vento no nível de 200mb: média de 01/01 a 08/01 e média de 27/01 a 02/02 de 2006 (Seabra et al, 2006).

Jato Subtropical e Jato Polar

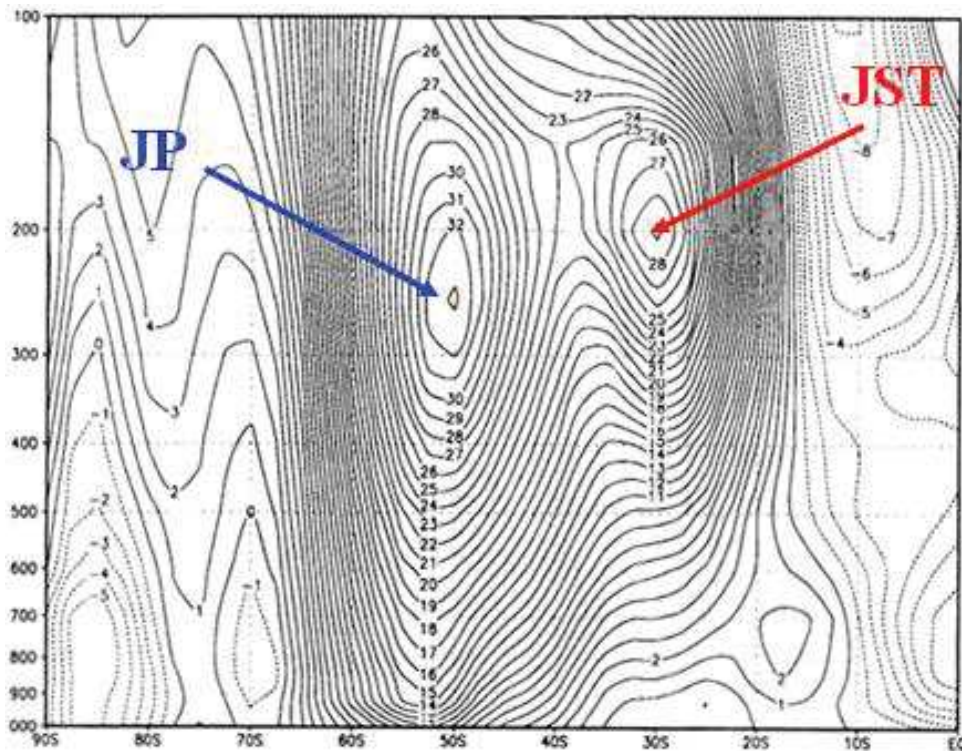
- Corrente de jato define-se como uma corrente de ar em forma de um estreito cano ou conduto, quase horizontal, geralmente próximo da tropopausa, cujo eixo localiza-se ao longo de uma linha de velocidade máxima e forte cisalhamentos horizontais e verticais.
- O núcleo da corrente de jato é a linha ao longo da qual as velocidades do vento são máximas tanto na vertical quanto na horizontal.
- A corrente de jato localiza-se entre 9.000 e 13.000 metros de altitude.
- Entende-se por cisalhamento ou "cortante" à variação da intensidade do vento.
- A corrente de jato, geralmente tem vários miles de quilômetros de comprimento, centos de quilômetros de largura e vários quilômetros de espessura.

Jato Subtropical e Jato Polar

- A "cortante" vertical no jato oscila entre 20 e 40 Km/h por quilômetro de altura e a "cortante" horizontal é aproximadamente de 20 Km por cada 100 quilômetro. A velocidade do vento ao longo do eixo principal da corrente de jato tem um mínimo de 140 Km/h e pode superar os 300 Km/h;
- Existem dois tipos de correntes de jato: o jato subtropical (JST) e o jato polar (JP);
- JST aparece geralmente acima dos 13.000 metros, concentrado próximo aos 200 hPa e na faixa de latitude que vai de 20S-40S;
- JP encontra-se entre os 8.000 e 10.000 metros de altitude, oscilando entre 30S-70S e concentrado em 250 hPa.

Jato Subtropical e Jato Polar

- A carta sinótica adequada para avaliar a presença dos jatos é a de 250 hPa ou de 300 hPa, apesar que o máximo de vento pode variar entre os 100 e 500 hPa;
- A altura do jato dependerá da intensidade da massa de ar: quanto mais fria, mais baixo estará se manifestando o jato.



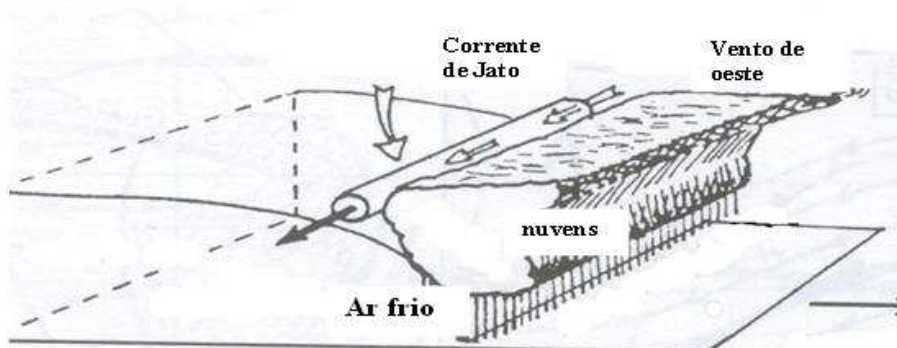
Corte vertical da componente zonal média do vento correspondente a Dezembro de 1998. A componente do vento é promediada entre os meridianos 45W e 75W. O corte se estende desde o equador até o pólo. Linhas contínuas: linhas com igual valor de velocidade do vento zonal de oeste. Linhas de traço: linhas com igual valor de velocidade do vento zonal de leste (Ântico e Berri, 2000).

Jato Subtropical e Jato Polar

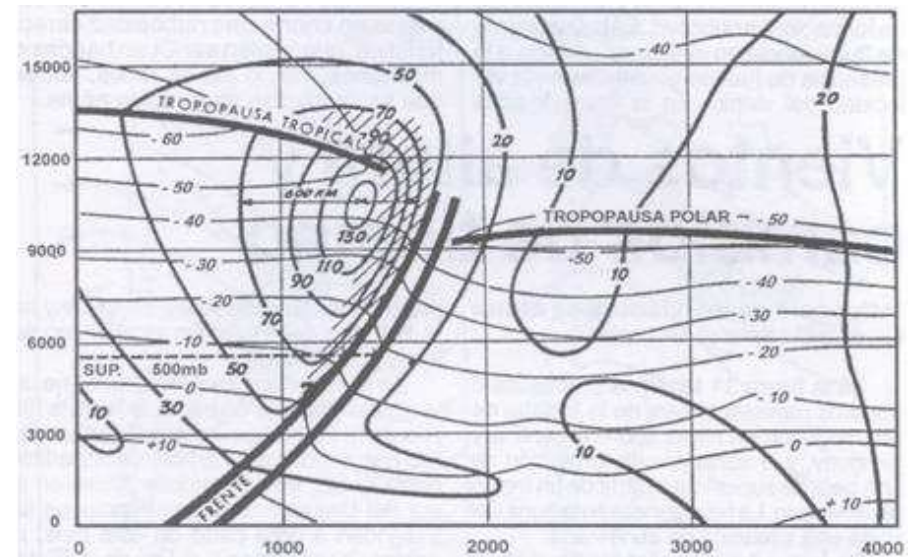
- JST é relativamente constante em posição em uma determinada estação do ano;
- JP é altamente variável em sua posição dia a dia sobre uma ampla faixa de latitudes médias e subtropicais -> depende da posição dos sistemas frontais;
- Menor variabilidade intrasazonal do JST em relação ao JP;
- Durante o inverno as frentes frias atingem latitudes mais baixas → JP acompanha o deslocamento destes sistemas;
- Durante o verão o JP fica restrito a latitudes mais altas, tendo sua posição mais ao norte próximo dos 35S;
- O JST também pode atingir latitudes baixas, porém nesses casos sempre aparecerá acoplado ao JP, que está associado aos sistemas transientes.

Jato Subtropical e Jato Polar

- O ar frio se desloca para o norte, escorregando-se sobre a superfície horizontal do solo. A curva de contato entre o ar frio e o solo é a frente fria. Por cima do ar frio observa-se o sistema de nuvens da frente com suas precipitações. O cano o conduto da corrente de Jato Polar encontra-se detrás do sistema de nuvens e por cima da superfície frontal. O JP quase sempre se localiza em direção Oeste-Leste com velocidades que podem variar entre 150 e 300 Km/h.



Relação entre o JP e a frente fria.

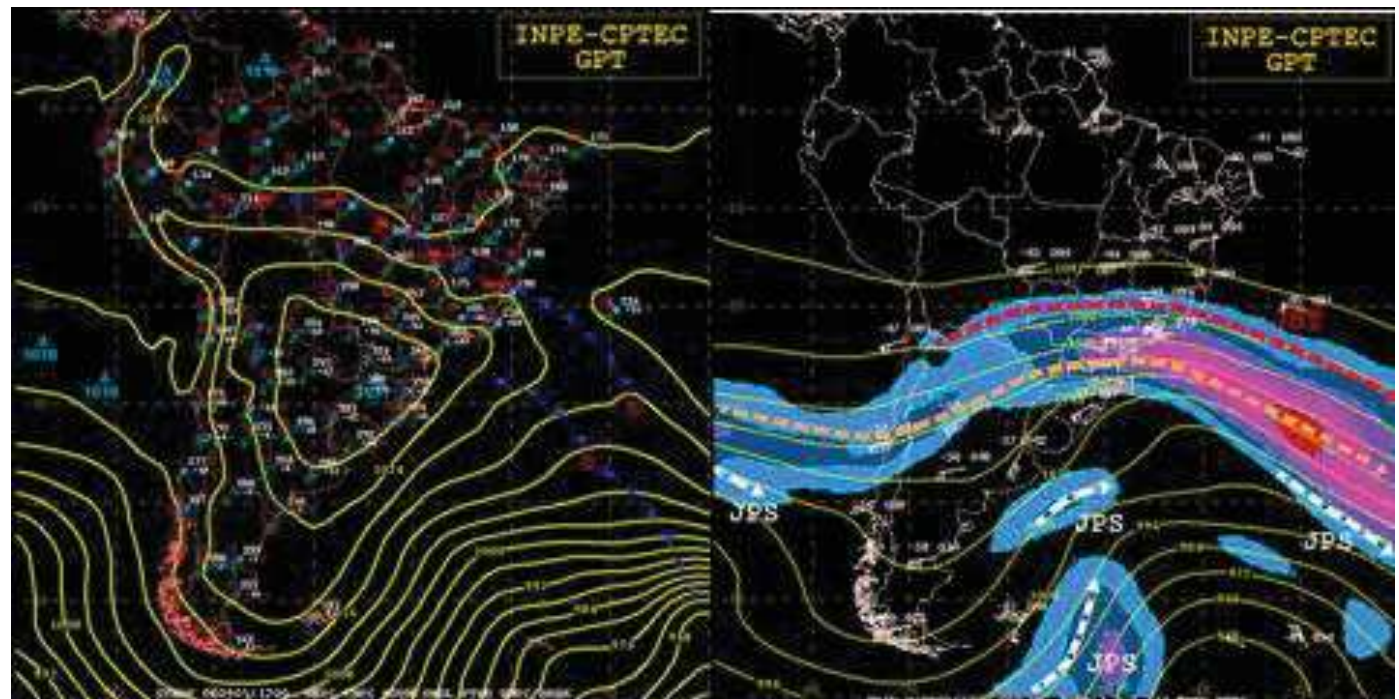


Corte transversal de uma frente. Linhas contínuas em negrita: isotacas (nós), Linhas contínuas: isotermas (Durst et al.)

Jato Subtropical e Jato Polar

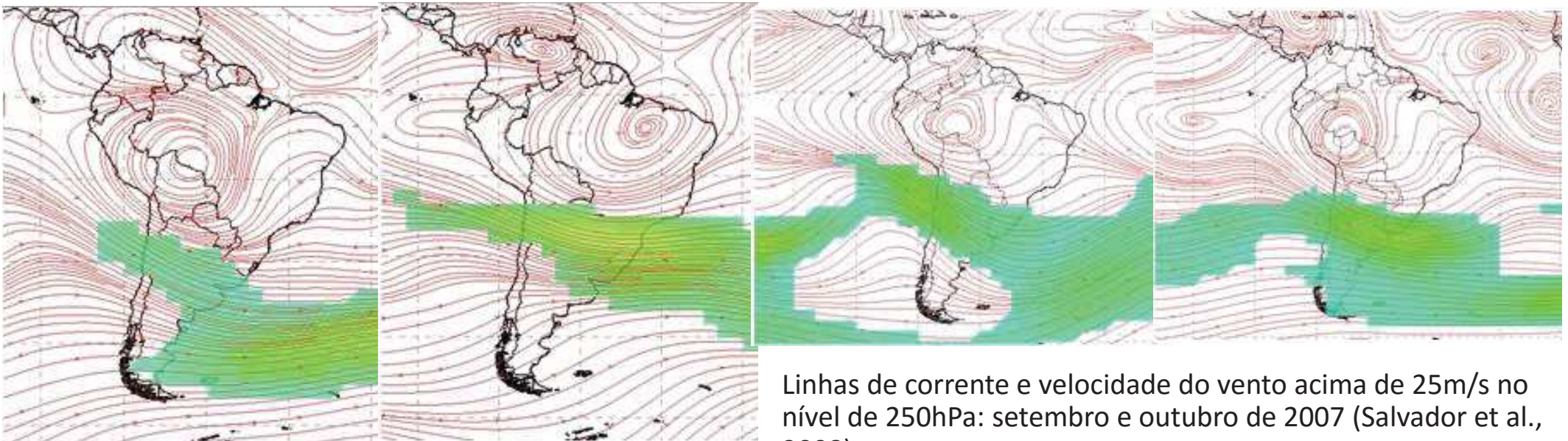
- A carta de superfície mostra uma intensa frente fria na Região Sudeste do Brasil. Esse sistema frontal frio esteve associado à uma forte incursão de ar frio sobre o centro-sul do continente sul-americano, que também provocou neve na Serra Gaúcha e Catarinense. Pode-se observar a presença do JP sobre o sul na altura do sul do Estado de São Paulo, próximo do paralelo 25S, indicando o avanço do ar frio. O JST aparece mais ao norte e acoplado ao JP.

Carta de superfície (esquerda) e altitude (direita) correspondente ao dia 5 de Setembro de 2006 às 12Z. O JP aparece plotado em traço grosso laranja.



Jato Subtropical e Jato Polar

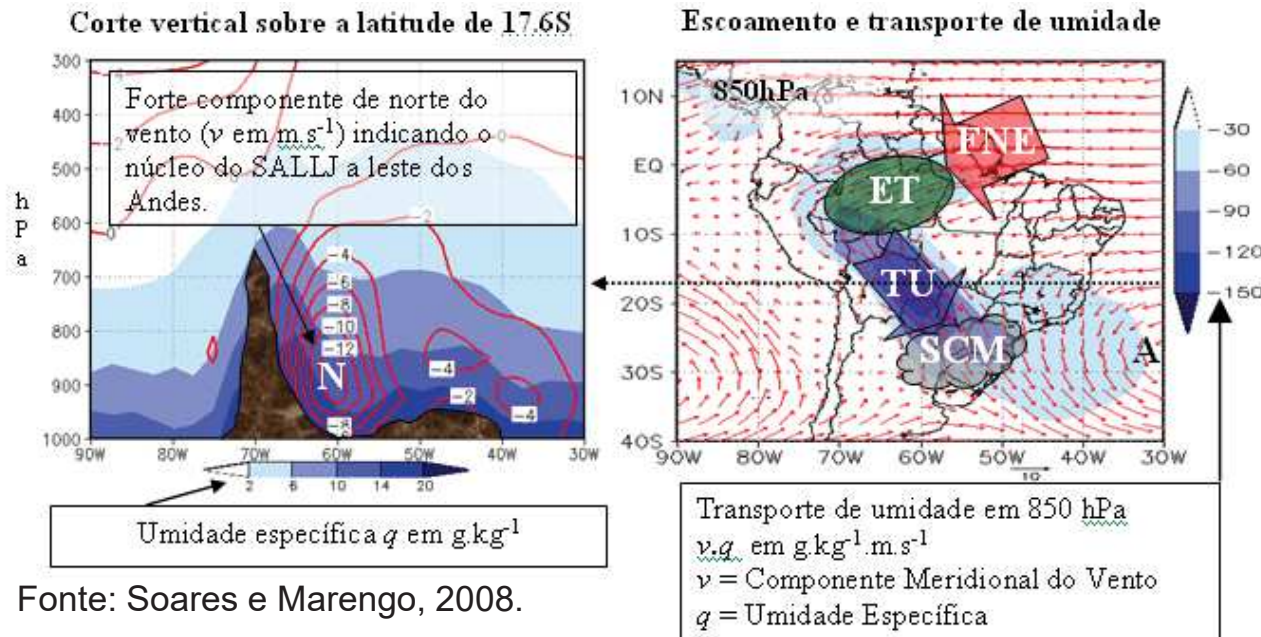
- A região de aumento (diminuição) do JST - entrada (saída) em altos níveis apresenta confluência na parte sul (norte) e difluência na parte norte (sul) → pode existir convergência em superfície ao norte da entrada do jato e ao sul da saída → podendo intensificar condições de superfície, ou seja, as instabilidades do jato são bastante importantes no sentido de fornecer suporte em altitude para sistemas sub-sinóticos (ex. CCM) se desenvolverem à superfície;
- Responsável pelo desenvolvimento ou intensificação da atividade convectiva sobre o Sul e Sudeste da AS.



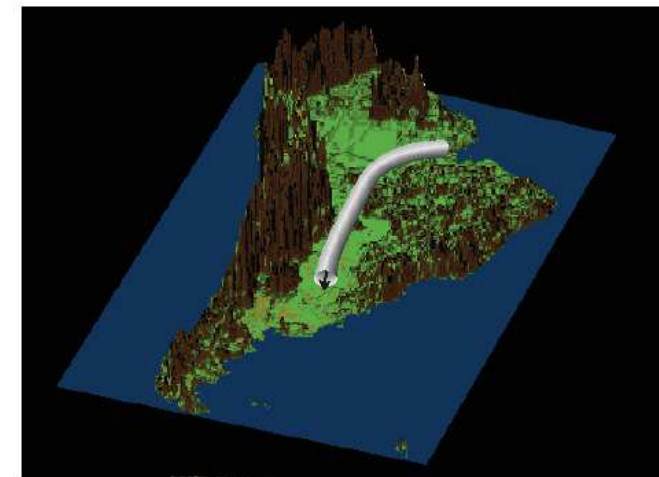
Linhas de corrente e velocidade do vento acima de 25m/s no nível de 250hPa: setembro e outubro de 2007 (Salvador et al., 2008).

Jato de Baixos Níveis

- Eventos de JBN na AS são detectados durante todo o ano, porém, são mais frequentes no verão. Isto deve-se provavelmente à intensificação dos alísios que penetram a AS pelo norte da Amazônia neste período.
- O fluxo de ar úmido oriundo dos ventos alísios ao passar sobre a Amazônia adquire maior quantidade de vapor d'água devido a evapotranspiração da floresta → este ar úmido então é canalizado pelos Andes adquirindo uma aceleração da componente meridional do vento em direção ao sul do Brasil e norte da Argentina.



Fonte: Soares e Marengo, 2008.

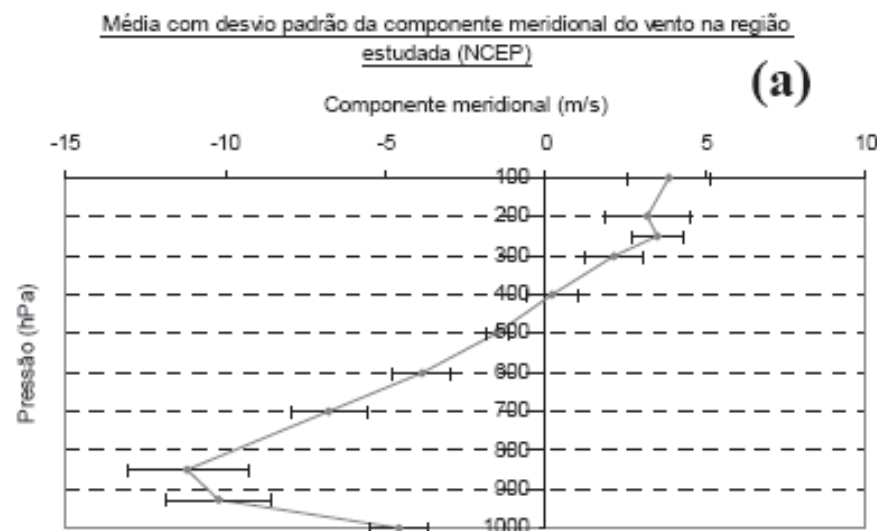
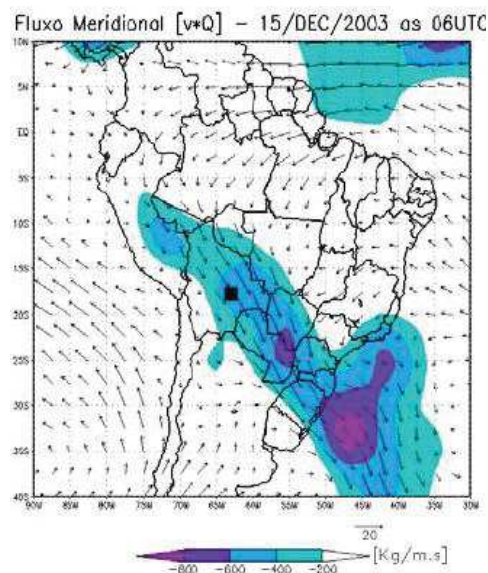


Fonte: CLIVAR (2005).

Jato de Baixos Níveis

- O Jato de Baixos Níveis (JBN) da AS é definido como um sistema de vento, com altas velocidades (normalmente $>12\text{m/s}$) situado entre os dois primeiros quilômetros da baixa atmosfera ($\sim 850\text{hPa}$).
- O JBN é considerado como uma corrente estreita que canaliza o fluxo de umidade próximo à superfície ao lado leste dos Andes entre as regiões tropicais e latitudes médias (Marengo et al., 2004).
- Perfil característico de JBN, onde há maior intensidade da componente meridional em torno de 850hPa com considerável cisalhamento vertical do vento, tanto abaixo quanto acima de 850hPa .

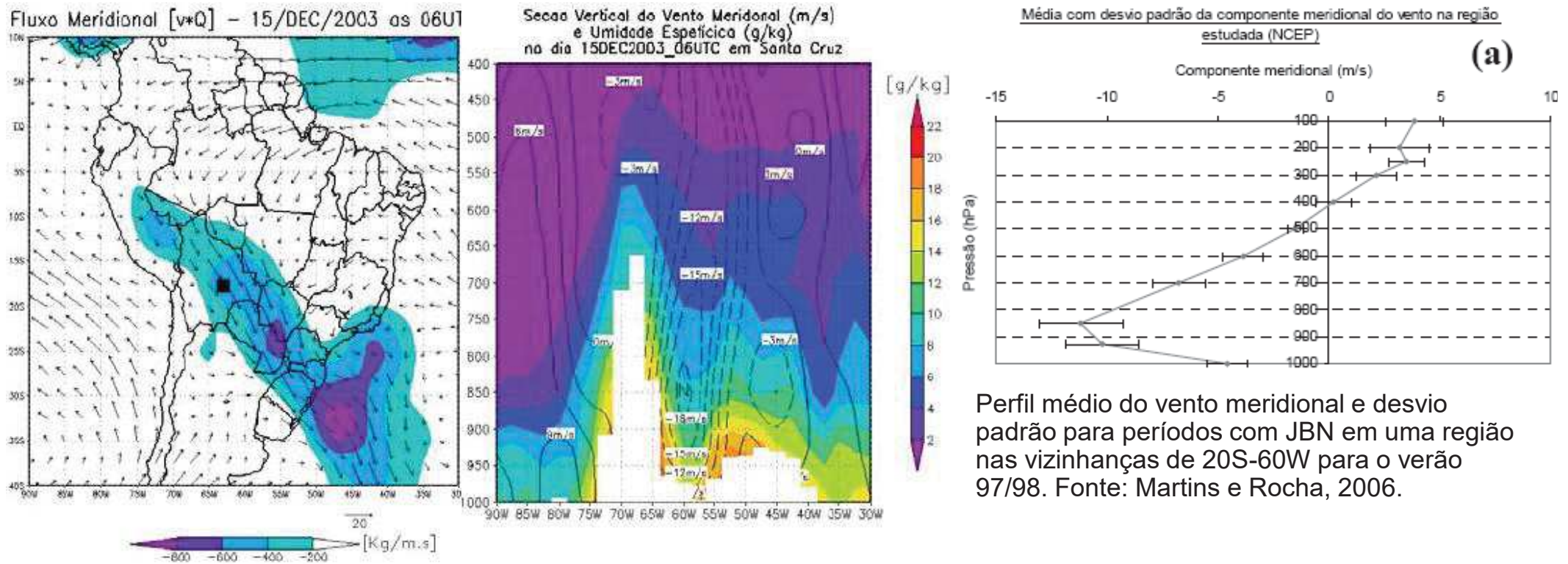
Dia 15/12/2002 às 06UTC. Vento no nível de 850hPa (m/s) e fluxo meridional de umidade integrado (kg/ms) (Martins dos Santos e Ambrizzi, 2006)



Perfil médio do vento meridional e desvio padrão para períodos com JBN em uma região nas vizinhanças de $20\text{S}-60\text{W}$ para o verão 97/98 (Martins e Rocha, 2006)

Jato de Baixos Níveis

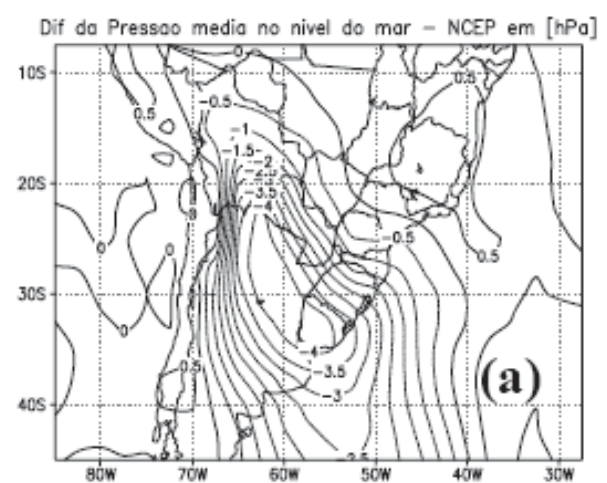
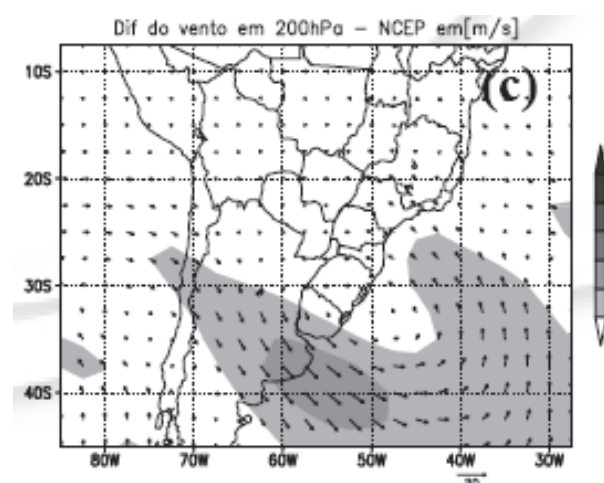
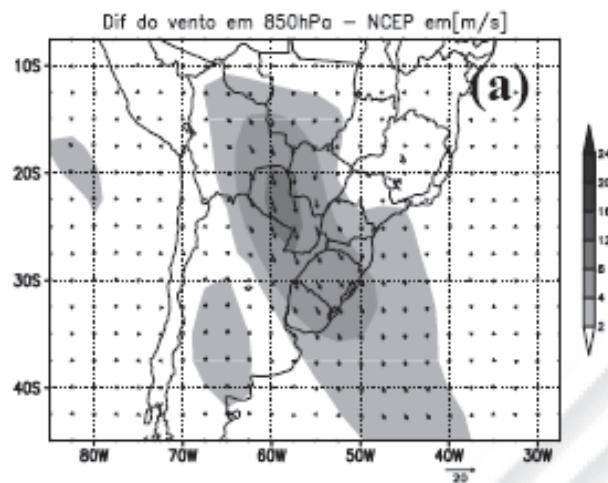
- Função de transportar calor latente e sensível, gerar turbulência através do cisalhamento vertical do vento e participa ativamente como mecanismo disparador da instabilidade potencial favorável para a formação de tempestades severas no Sudeste/Sul do Brasil e norte da Argentina (ex. CCM) (*Silva, 2005; Wang e Fu, 2004; Weykamp e Ambrizzi, 2006*).



Dia 15/12/2002 às 06UTC. Vento no nível de 850hPa (m/s) e fluxo meridional de umidade integrado (kg/ms). Seção transversal do vento meridional (m/s) e umidade específica (g/kg) centrada em 17.75S. As linhas contínuas (tracejadas) representam vento de sul (norte) (Martins dos Santos e Ambrizzi, 2006)

Jato de Baixos Níveis

- Em 850hPa, a diferença no escoamento entre períodos com e sem JBN mostra uma intensificação dos ventos de noroeste desde o leste dos Andes até o sul do Brasil.
- Em 200hPa, verifica-se uma intensificação do jato subtropical. É possível observar também um grande anticiclone centrado próximo a costa do sul do Brasil e que abrange uma grande área.
- Redução da pressão sobre o Paraguai, norte da Argentina, Uruguai e Sul do Brasil.

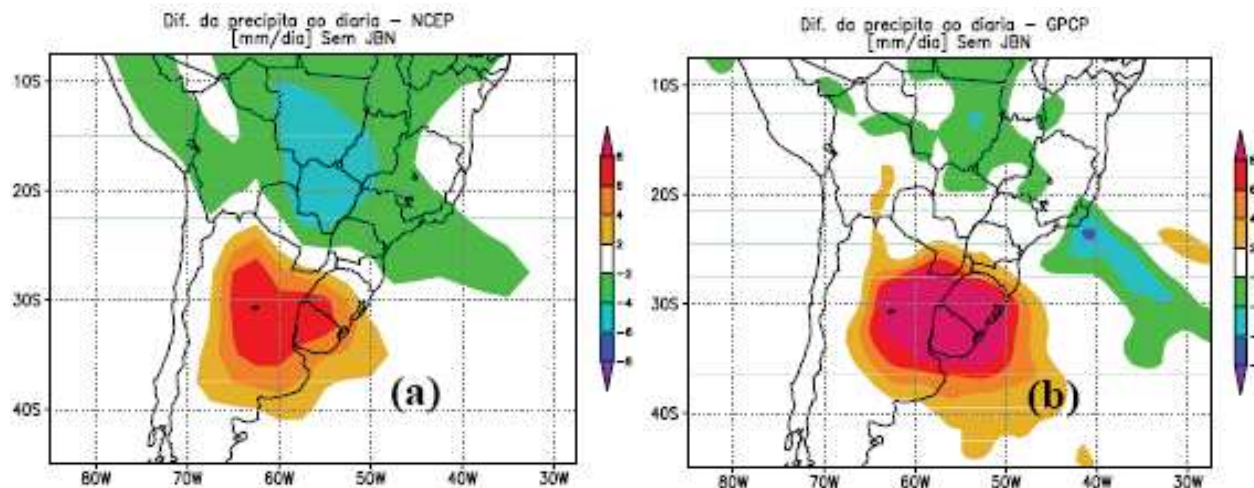


Composição da diferença do vetor vento em 850hPa e 200hPa entre os dias com e sem JBN para os dados do NCEP no verão 97/98 (Martins e Rocha, 2006).

Diferença entre as composições dos campos de PNMM com e sem JBN para os dados do NCEP no verão 97/98 (Martins e Rocha, 2006).

Jato de Baixos Níveis

- A diferença entre composições de precipitação para períodos com e sem JBN indica uma maior concentração de chuvas sobre o Rio Grande do Sul, norte da Argentina e Uruguai. Por outro lado, a Região Sudeste e Centro-Oeste do Brasil têm sua precipitação reduzida.
- Para janeiro de 1998, períodos com JBN tanto os ventos de noroeste (leste dos Andes) como os de nordeste (ramo leste do anticiclone subtropical do Atlântico) estão mais intensos e convergem mais ao sul, sobre o Sul do Brasil e Paraguai (*Martins e Rocha, 2004*).
- Análises compostas de ROL durante períodos com JBN mostraram anomalias negativas de ROL sobre o Sul do Brasil, Paraguai e norte da Argentina e positivas sobre o Sudeste (*Sugahara et al., 1994; Salio et al., 2000; Saulo et al., 2000*).



Diferença entre as composições de precipitação diária entre dias com e sem JBN para os dados do NCEP e do GPCP no verão 97/98 (*Martins e Rocha, 2006*).

Jato de Baixos Níveis

➤ **Martins dos Santos e Ambrizzi, 2006**

- Para se identificar um episódio de JBN o critério 1 de Bonner (Bonner, 1968) adaptado por Marengo et al. (2004) requer que as seguintes condições sejam satisfeitas simultaneamente:
 - vento meridional em 850hPa de norte com velocidade $\geq 12\text{m/s}$.
 - cisalhamento vertical do vento entre os níveis de 850 e 700hPa $\geq 6\text{ms}^{-1}$ por quilômetro abaixo do nível de 3000m.
 - o vento meridional deve predominar sobre o vento zonal.

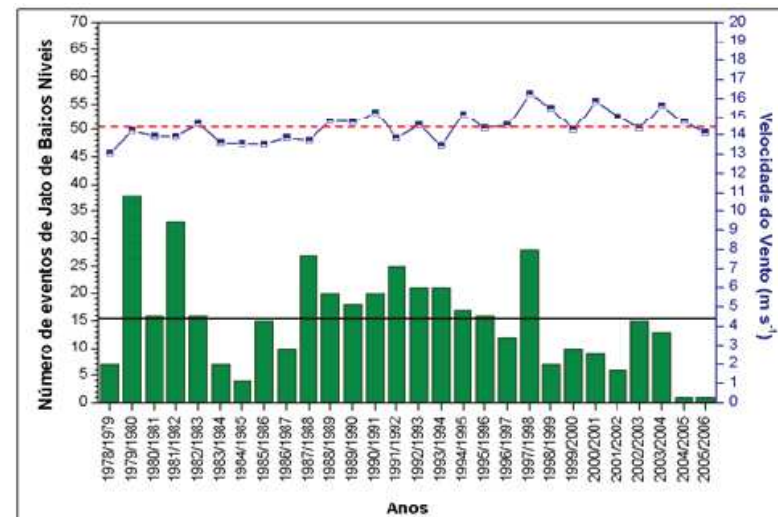
➤ **Martins e Rocha, 2006**

- No critério utilizado para identificar dias e horários com a presença de JBN proposto por Sugahara et al. (1994), o JBN é tido como:
 - vento meridional em 850hPa de norte com velocidade $> 8\text{m/s}$.
 - cisalhamento vertical do vento entre os níveis de 850 e 700hPa $\geq 2\text{ms}^{-1}/150\text{hPa}$.

Jato de Baixos Níveis

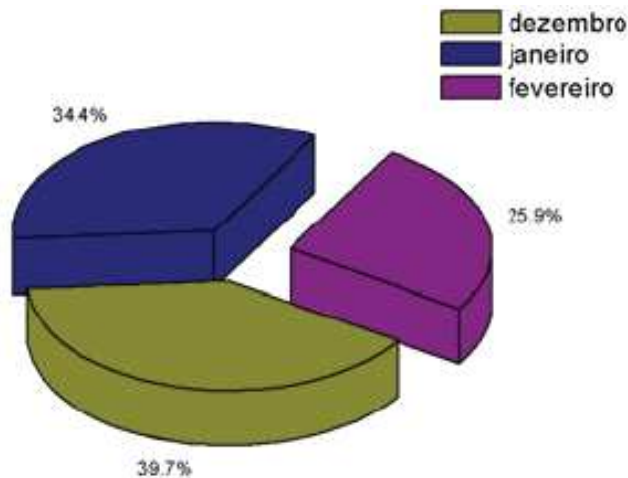
- A região de Santa Cruz de La Sierra – Bolívia (17.75S-63.06W) e o nível de 850hPa foi selecionado por ser uma região representativa do núcleo de máxima intensidade do JBN durante o verão;
- No verão, para a localidade de Santa Cruz, durante o período de dez/78 a fev/06, do total de dias analisados (cerca de 10000 eventos) 4% corresponderam à ocorrência de JBN (critério de Bonner);
- A variabilidade interanual mostrou que não ocorreu uma distribuição regular dos JBN durante o verão;
- A partir do início da década de 1990 houve uma tendência positiva do aumento da intensidade do JBN.

Variabilidade interanual dos eventos de JBN em Santa Cruz (dez/78 a fev/06). A linha contínua inferior refere-se a média dos eventos de JBN e a superior tracejada a velocidade média dos jatos. Fonte: Martins dos Santos e Ambrizzi, 2006.

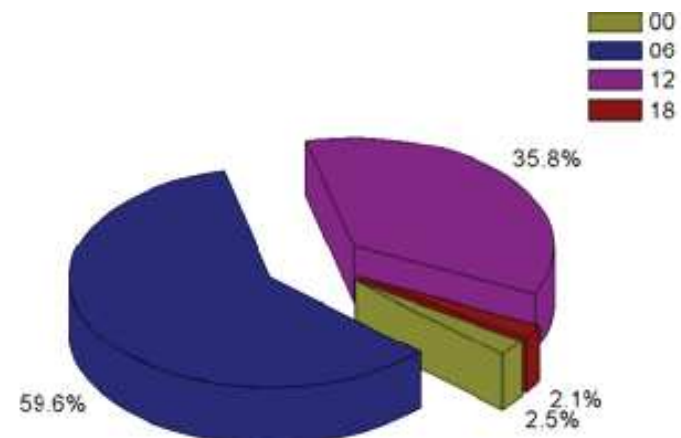


Jato de Baixos Níveis

- No mês de dezembro foram detectadas as maiores ocorrências de JBN na AS.
- O horário preferencial de ocorrência dos JBN é entre às 06 (~60%) e 12 (~36%)UTC. A velocidade média foi de 14m/s entre os dois horários.
- É caracterizado por uma forte oscilação diurna e máxima aceleração noturna, apresentando uma extensão horizontal de algumas centenas de quilômetros (*Marengo e Soares, 2002*).



Distribuição mensal dos eventos de JBN em Santa Cruz (dez/78 a fev/06).
Martins dos Santos e Ambrizzi (2006)



Distribuição horário dos eventos de JBN em Santa Cruz (dez/78 a fev/06).
Martins dos Santos e Ambrizzi (2006)

Complexos Convectivos de Mesoescala

- Sistema Convectivo de Mesoescala (SCM) é constituído por um aglomerado de nuvens convectivas com formas aproximadamente linear (linhas de instabilidade) ou circular (complexos convectivos de mesoescala) e que apresentam núcleos convectivos e chuvas estratiformes;
- Os SCM são difíceis de serem previstos pelos modelos globais atmosféricos devido à rapidez de sua formação, pequena duração e extensão espacial. Com isso, torna-se necessário a incorporação dos resultados de modelos de mesoescala, por serem obtidos com uma grade horizontal mais refinada.

Imagem do canal infravermelho do satélite GOES-8 do dia 02/11/1999 às 06:00 UTC.

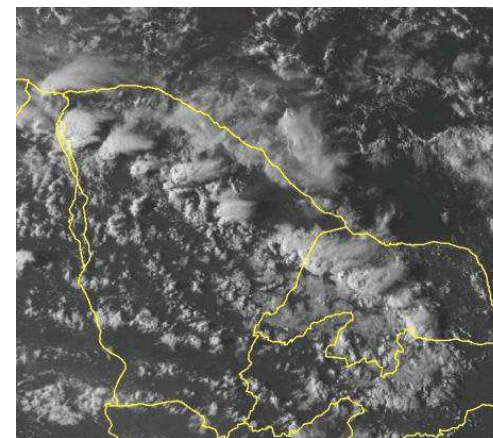
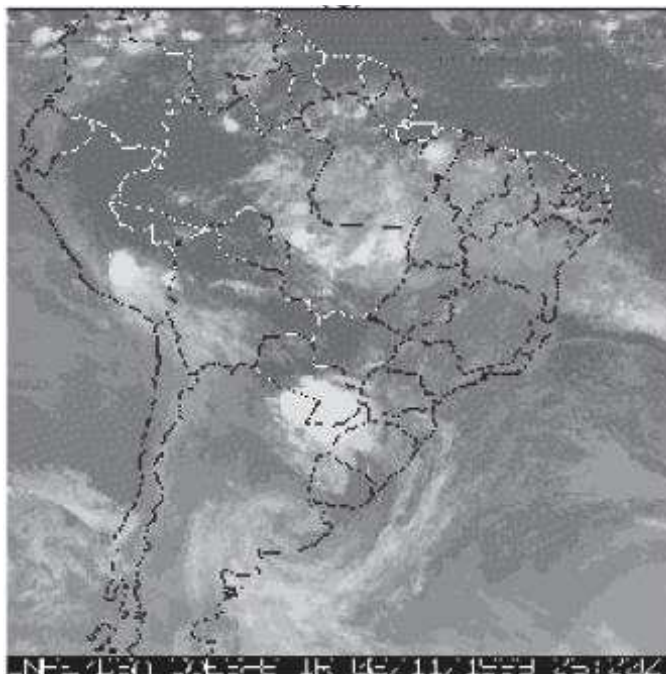
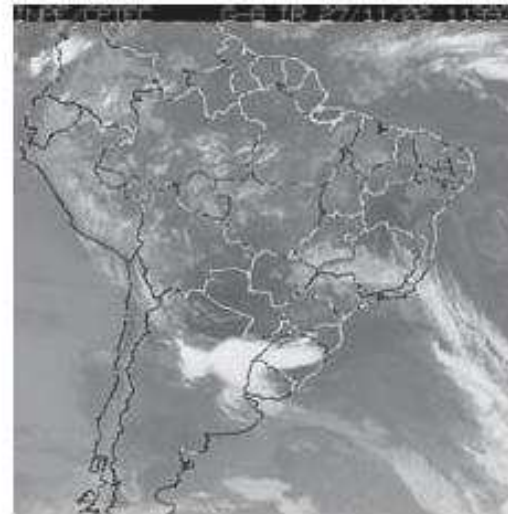
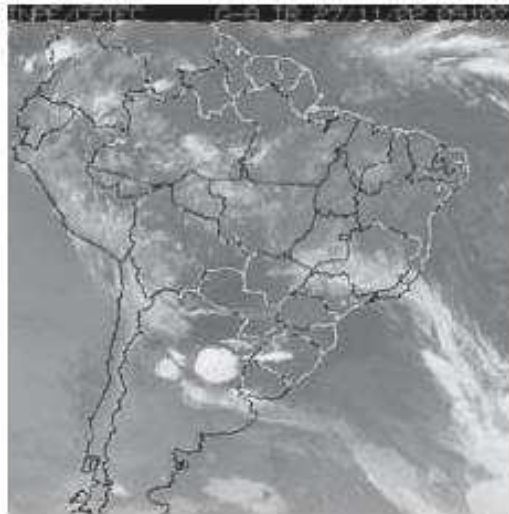
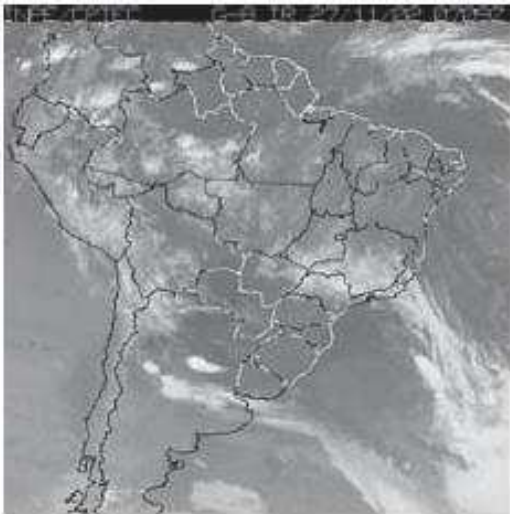


Imagem do visível fornecida pelo NOAA-12 do dia 25/03/2003 às 19:03 UTC.

Complexos Convectivos de Mesoescala

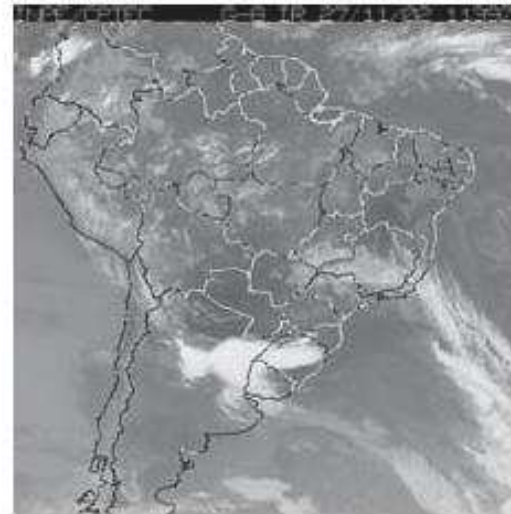
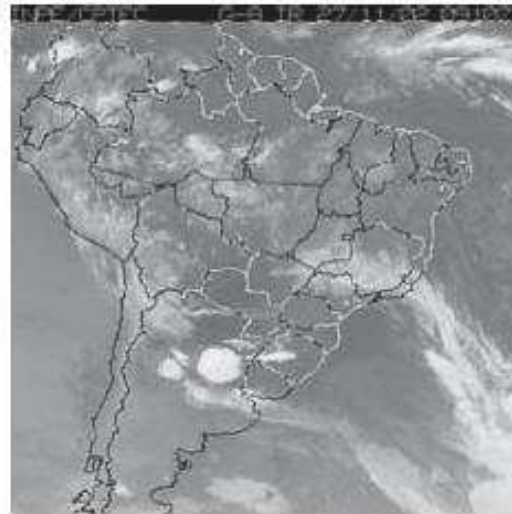
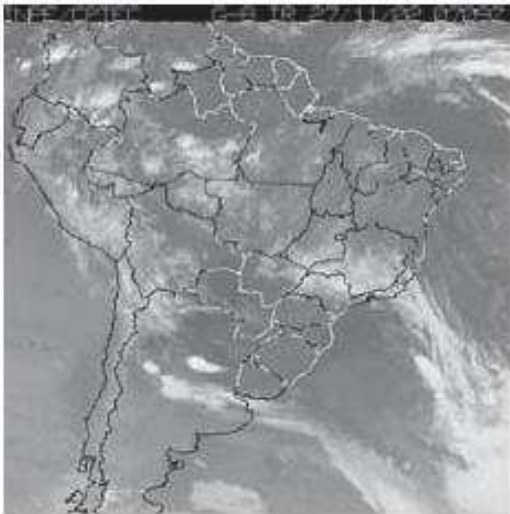
- A maioria dos CCMs ocorrem sobre regiões continentais situadas a sotavento de cadeia de montanhas e corrente abaixo dos JBN que transportam ar quente e úmido dos trópicos para alimentar a convecção (*Maddox, 1983; Velasco e Fritsch, 1987; Nieto Ferreira et al., 2003*);
- Tipicamente sobre a região de planície do Paraguai, a circulação vale-montanha pode ocasionar alguns aglomerados convectivos, que na presença de jatos de altos (ar mais frio e seco) e baixos (ar mais quente e úmido) níveis podem levar à formação de grandes CCMs no início da manhã;



Imagens do canal infravermelho do satélite GOES-8 mostrando o início às 07:09 UTC (a), maturação às 09:10 UTC, (b) e dissipação do CCM às 11:39 UTC (c) (Sodré Lima e Jacondino de Campos, 2006).

Complexos Convectivos de Mesoescala

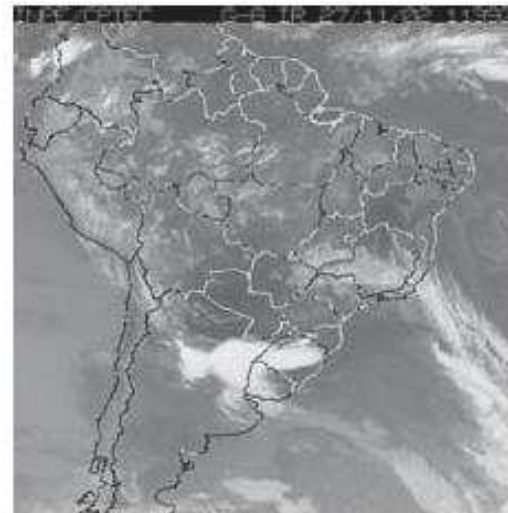
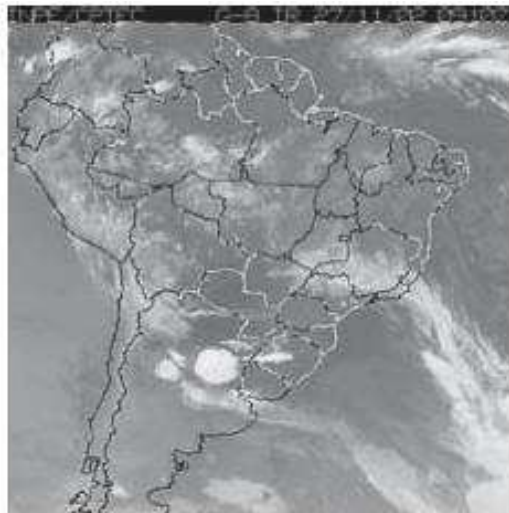
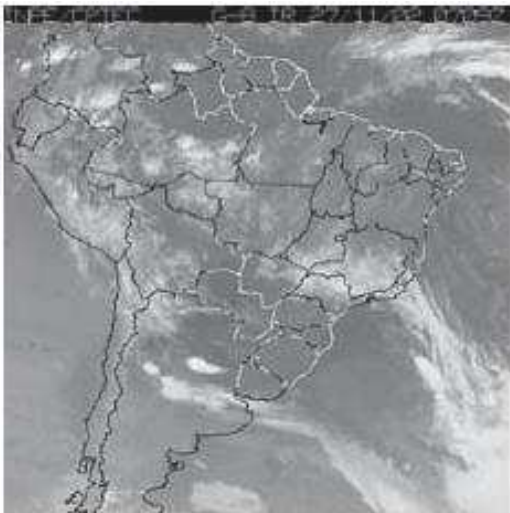
- O ciclo de vida dos CCMs se divide em quatro etapas: formação, desenvolvimento, maturação e dissipação (*Maddox, 1980*), sendo mais longo do que um sistema convectivo isolado, variando de 6 a 15 horas;
- Em 25 casos de CCMs estudados por Figueiredo e Sclar (1996), 70% (30%) deslocaram-se para leste e sudeste (nordeste e norte), atingindo o Sul do Brasil, Argentina e Uruguai (Região Sudeste do Brasil).



Imagens do canal infravermelho do satélite GOES-8 mostrando o início às 07:09 UTC (a), maturação às 09:10 UTC, (b) e dissipação do CCM às 11:39 UTC (c) (Sodré Lima e Jacondino de Campos, 2006).

Complexos Convectivos de Mesoescala

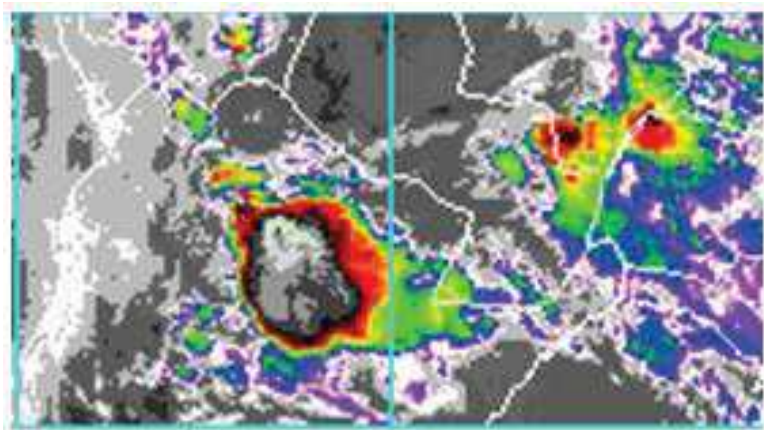
- Possuem uma espessa cobertura de nuvens frias constituídas pelos topos e bigornas dos Cbs, surge durante a noite e pode adquirir grandes proporções no início da manhã (*Velasco e Fritsch, 1987; Maddox, 1980*);
- Frequência de máxima ocorrência de nov a jan. (*Velasco e Fritsch, 1987*);
- Formação de um aglomerado de nuvens convectivas no norte da Argentina às 07:09 UTC do dia 27/11/2002 → evoluíram até atingir o seu máximo desenvolvimento às 09:10 UTC → o CCM deslocou-se para a Região Sul do Brasil evoluindo até a forma de sistema convectivo às 11:39 UTC.



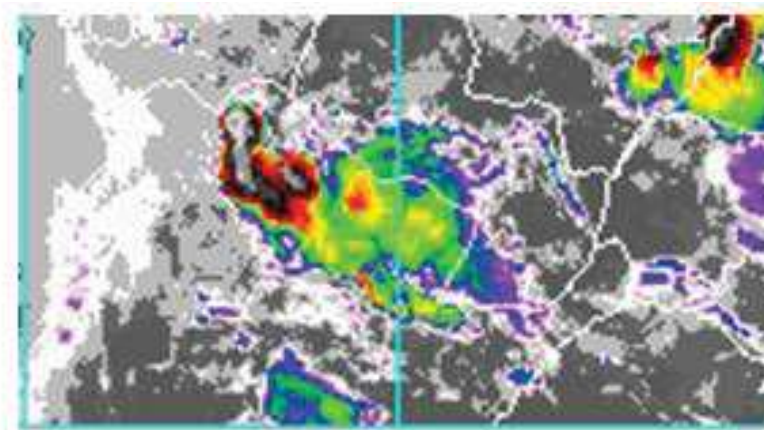
Imagens do canal infravermelho do satélite GOES-8 mostrando o início às 07:09 UTC (a), maturação às 09:10 UTC, (b) e dissipação do CCM às 11:39 UTC (c) (Sodré Lima e Jacondino de Campos, 2006).

Complexos Convectivos de Mesoescala

- Este CCM ocorreu no norte da Argentina e teve seu início por volta das 02:39 UTC e terminou por volta das 10:09 UTC do dia 21/01/2003, tendo uma duração máxima de aproximadamente 9 horas.



(a)



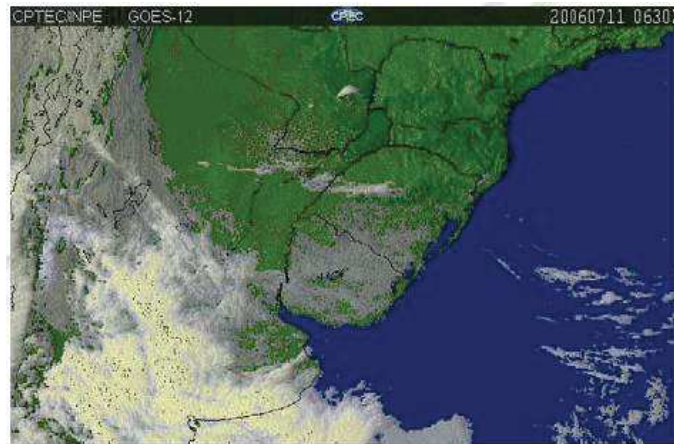
(b)

Início às 02:39 UTC (a) e término 10:09 UTC (b) do dia 21/01/2003.

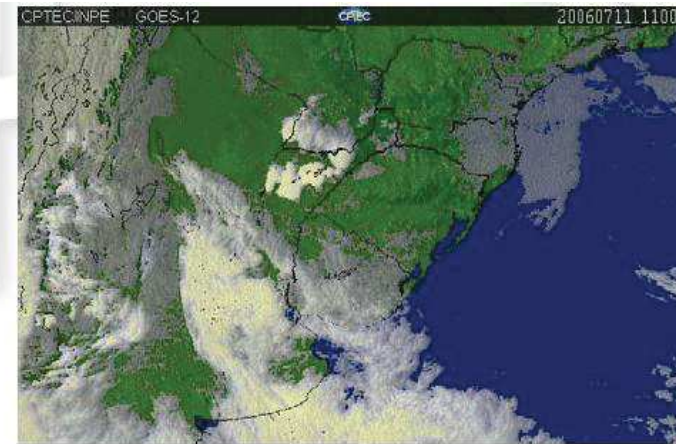
Fonte: Silva e Jeske, 2008.

Complexos Convectivos de Mesoescala

- Sua forma característica foi observada na imagem do dia 11/06/2006 às 19:00 UTC e seu ápice se deu às 23:00 UTC do mesmo dia, tendo um ciclo de vida de 13 horas.



(a)



(b)



(c)

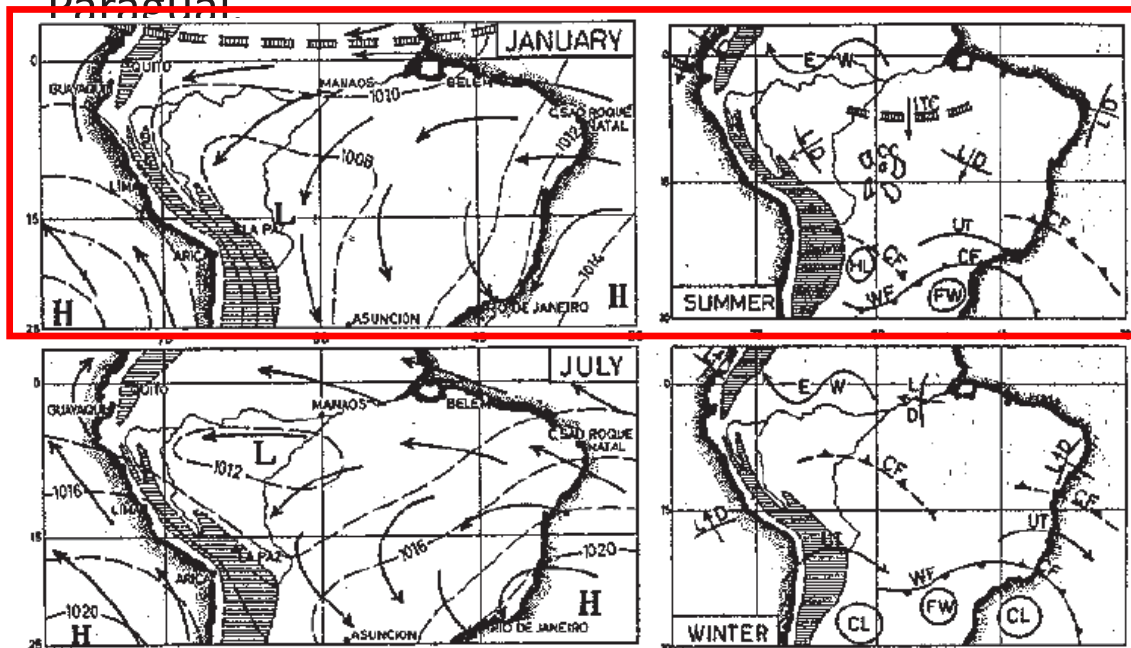


(d)

Imagens de satélite: (a) início das células do sistema, (b) conglomerado de nuvens, (c) o CCM está mais intenso e cobre quase todo o RS, (d) estágio de maior desenvolvimento do CCM (Fernandes e Foster, 2006).

Clima do Brasil - Verão

- Umidade disponível;
- ZCIT mais ao sul;
- ASAS enfraquecido;
- baixa de superfície amazônica prolongada para o sul;
- aglomerados convectivos sobre a planície amazônica; presença da BC sobre o Paraguai.

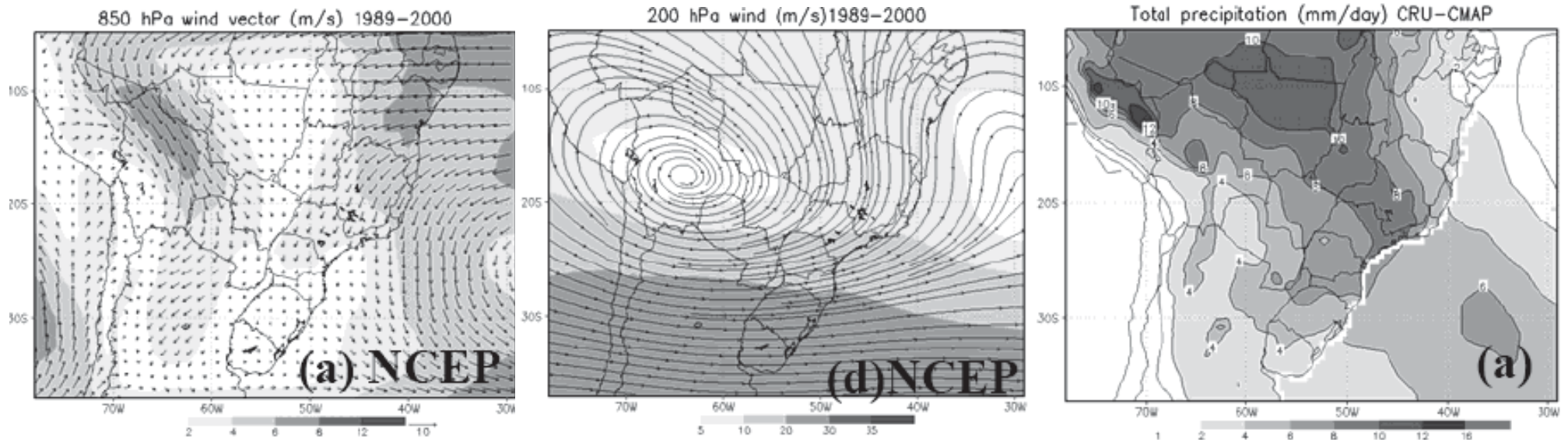


Janeiro

Taljaard (1972)

Clima do Brasil - Verão

- Em 850hPa: circulação anticiclônica associada à Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e o escoamento de noroeste associado a deflexão dos alísios a leste dos Andes (Jatos de baixos níveis – JBN) (*Marengo et al., 2004*).
- Em 200hPa: principal componente da circulação monçônica sobre a AS (*Nogués-Paegle e Mo, 1997*) – Alta da Bolívia (AB), cavado corrente abaixo sobre o Nordeste do Brasil, jato subtropical ao sul da AB.



Climatologia para 12 verões entre 1989-2000: precipitação da análise do CRU e do CMAP sobre o oceano; ventos em baixos (850hPa) e altos (200hPa) níveis da reanálise do NCEP/NCAR (Rocha, 2006).

Sistemas Frontais

- **Frontogênese:** formação ou intensificação de uma frente através do aumento do gradiente de temperatura;
- Agem no sentido de diminuir o gradiente horizontal de temperatura (levando o ar polar para a região tropical e ar tropical para a região polar);
- As frentes frias que atingem o Sudeste do Brasil são orientadas na direção noroeste-sudeste com deslocamento típico de sudoeste para nordeste;
- Causam variações na distribuição de precipitação e temperatura em quase todo o país.

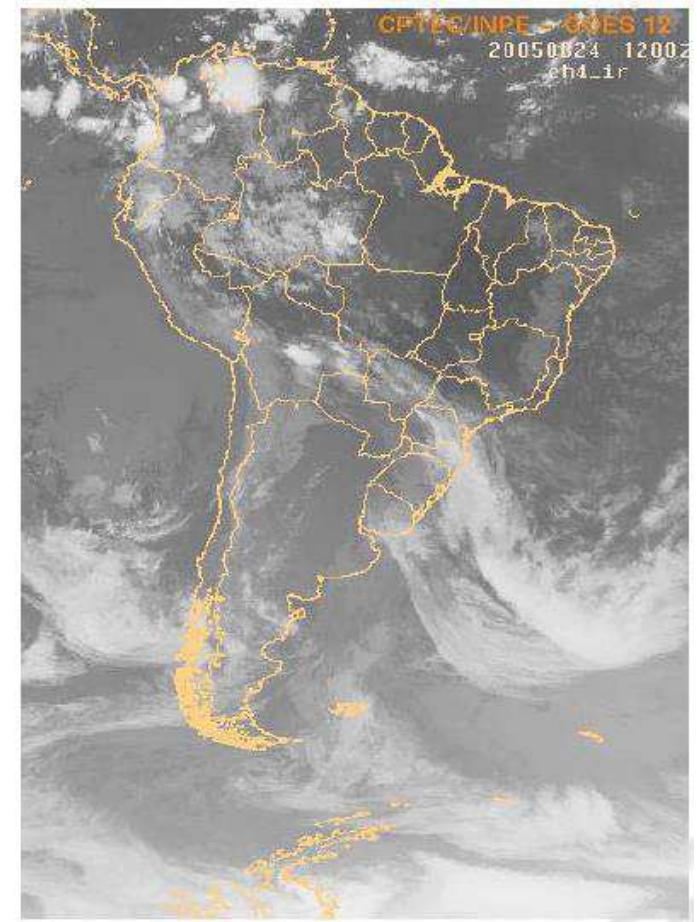
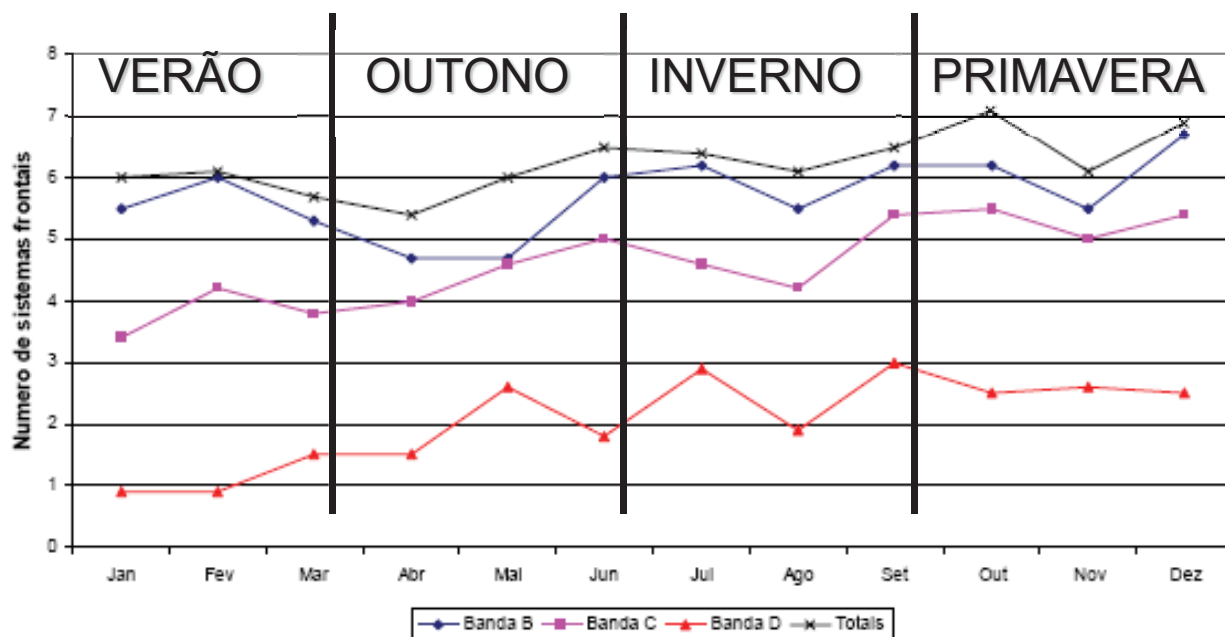


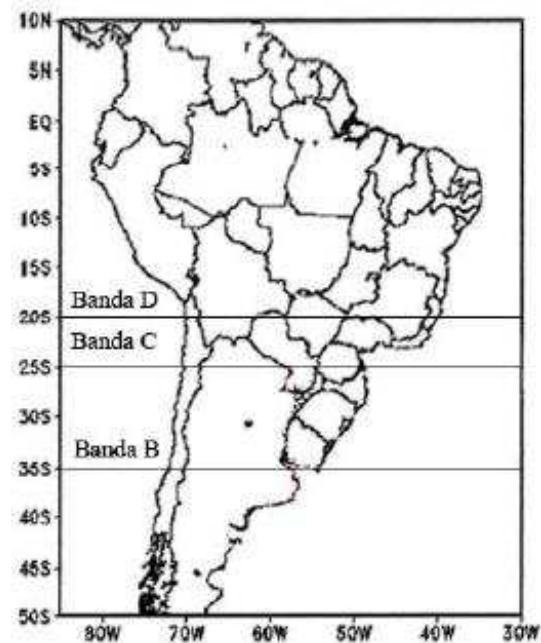
Imagem de satélite GOES, 24/08/2005 às 12UTC (Czarnobai et al., 2006).

Sistemas Frontais

- Não se observa uma grande variação de passagem de sistemas frontais nas médias mensais para o período de 1996-2004.
- Banda B: maior (menor) em set, out e dez (mar, abr e mai).
- Banda C: maior (menor) em set, out e dez (jan, mar e abr).
- Banda D: maior (menor) em jul e set (jan, fev, mar e abr).
- A passagem de sistemas frontais é maior na banda B e decresce até a banda D.



Média mensal de sistemas frontais divididos por bandas (B, C e D) atuantes no período de 1996-2004.



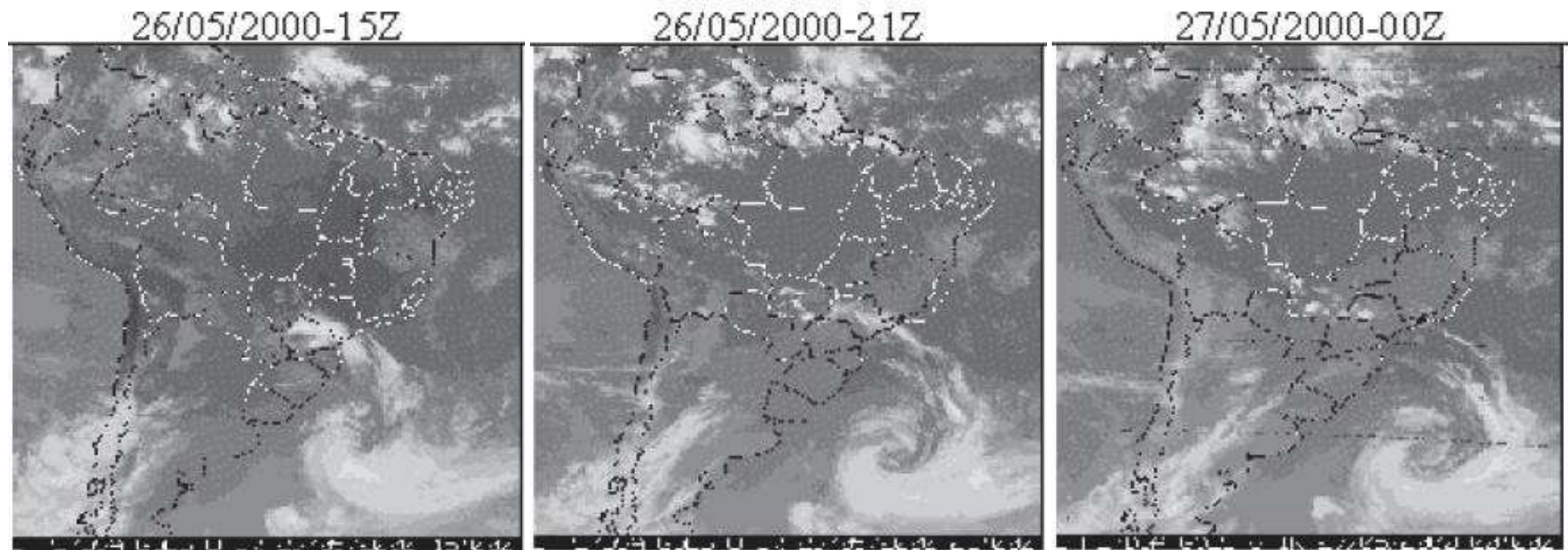
Fernandes e Jacondino (2006)

Sistemas Frontais

- Em Santa Catarina, há uma média mensal de 3 a 4 frentes frias em todos os meses do ano, com um leve aumento desta frequência durante os meses de primavera (*Rodrigues, 2004*).
- *Andrade e Cavalcanti (2004)* constataram maior frequência de sistemas frontais nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil durante a primavera.
- No litoral Sudeste do Brasil, *Oliveira (1986)* e *Justi da Silva e Silva Dias (2000)* encontraram um número de sistemas frontais relativamente maior no inverno comparado ao verão.
- No verão as frentes frias tendem a atuar por mais tempo (frentes estacionárias), associadas à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), produzindo chuvas por uma vasta região por muitos dias.
- No inverno, são as principais (senão a única) causadoras das bruscas e acentuadas quedas de temperatura.

Ciclones

- Ciclogênese é o processo de abaixamento da pressão atmosférica de superfície com conseqüente formação de circulação ciclônica. Muitas vezes pode ser disparada por vórtices ciclônicos de altos níveis.
- Fazem parte do grupo dos fenômenos severos da escala sinótica.



Ciclones

➤ Gan e Rao, 1991

- 14600 cartas de superfície (4 por dia) de janeiro de 1979 a dezembro de 1988.
- Critério: no mínimo uma isóbara fechada ao redor de um centro de baixa na análise de 2hPa de intervalo; o centro deve persistir no mínimo em 4 mapas consecutivos.
- Preferência de ocorrência de ciclogêneses no inverno (Necco, 1982) e outono, com verão por último.

Year	Summer	Autumn	Winter	Spring
1979	13*	29	23	22
1980	25	21	33	29
1981	23	25	19	21
1982	21	26	25	24
1983	20	35	41	38
1984	23	33	32	32
1985	29	33	27	29
1986	18	41	32	18
1987	13	23	47	31
1988	22	36	26	24
Total	207	302	305	268

Frequência sazonal de ciclogênese (Gan e Rao, 1991).

Ciclones

- Variabilidade interanual: 1981 (ano de La Niña) ano de menor frequência de ciclogênese e 1983 (ano de El Niño) ano de maior frequência. Os anos de El Niño de 1986 e 1987 também mostram alta frequência de ciclogênese.
- Variabilidade sazonal: maior frequência de ciclogênese em maio (134) seguido por julho (107) e menor em dezembro (71).

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
1979	4	9	7	4	18	3	9	11	4	9	9	6	93
1980	8	11	5	9	7	10	12	11	9	8	12	9	111
1981	7	7	8	13	4	5	8	6	6	6	9	7	86
1982	7	7	8	5	13	12	10	3	11	11	2	8	97
1983	8	4	12	9	14	14	14	13	12	15	11	9	135
1984	7	7	7	6	20	15	13	4	12	12	8	8	119
1985	11	10	7	11	15	11	10	6	10	15	4	4	114
1986	8	6	10	11	20	11	7	14	6	7	5	4	109
1987	3	6	7	9	7	11	17	19	13	12	6	7	117
1988	10	5	9	11	16	9	7	10	7	10	7	9	110
Total	73	72	80	88	134	101	107	97	90	105	73	71	1091

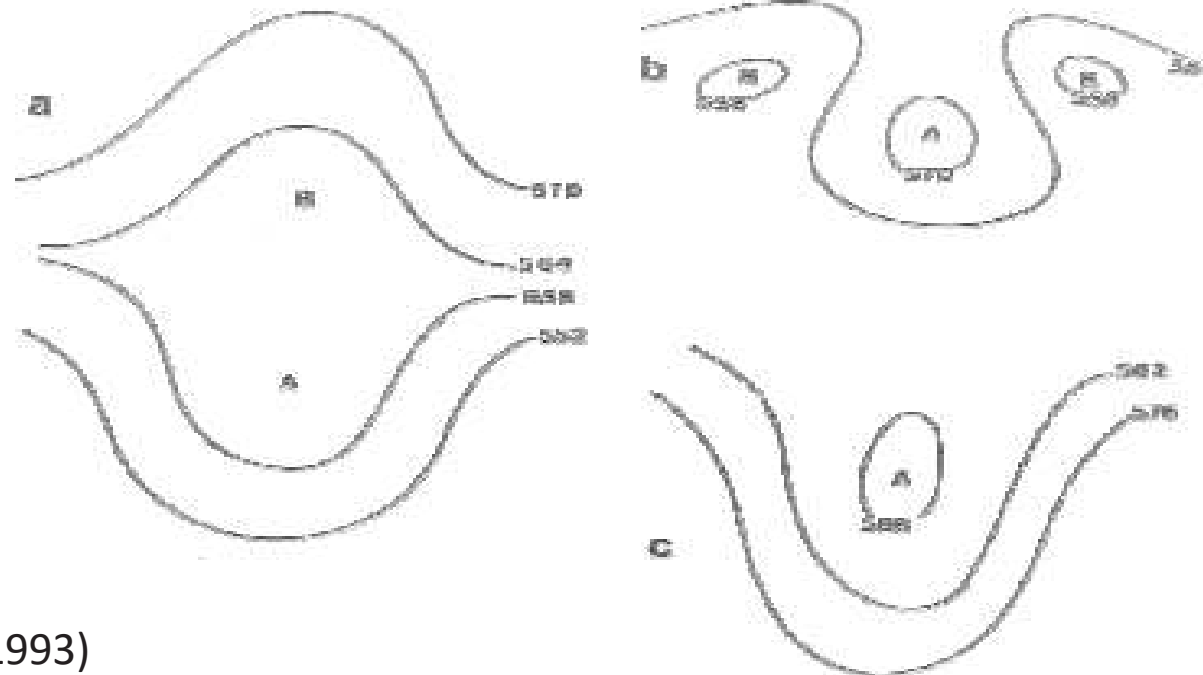
Frequência mensal de ciclogênese (Gan e Rao, 1991).

Bloqueios

- A circulação atmosférica de latitudes médias em médios e altos níveis é caracterizada por um escoamento zonal de oeste, que favorece o deslocamento para leste de sistemas sinóticos (ex. frentes frias e ciclones).
- Esta circulação é interrompida pela formação em larga escala de um anticiclone anômalo semi-estacionário, em torno de 60°S (*Mendes et al., 2005*), que persiste por vários dias, produzindo um brusco desvio dos sistemas transientes e causando impactos na precipitação e temperatura, como secas na região bloqueada e enchentes no lado polar e equatorial (*Knox e Hay, 1984*).

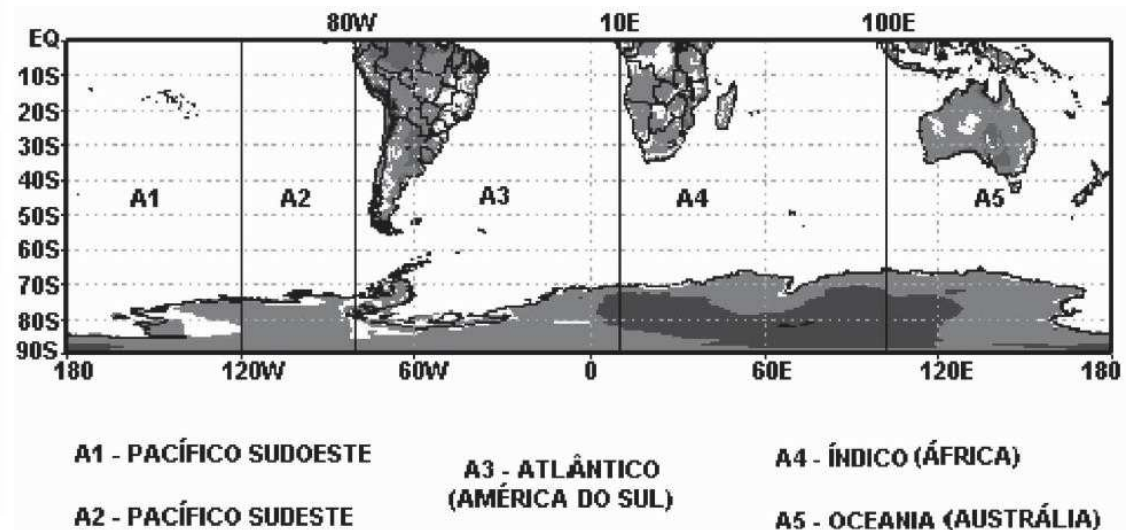
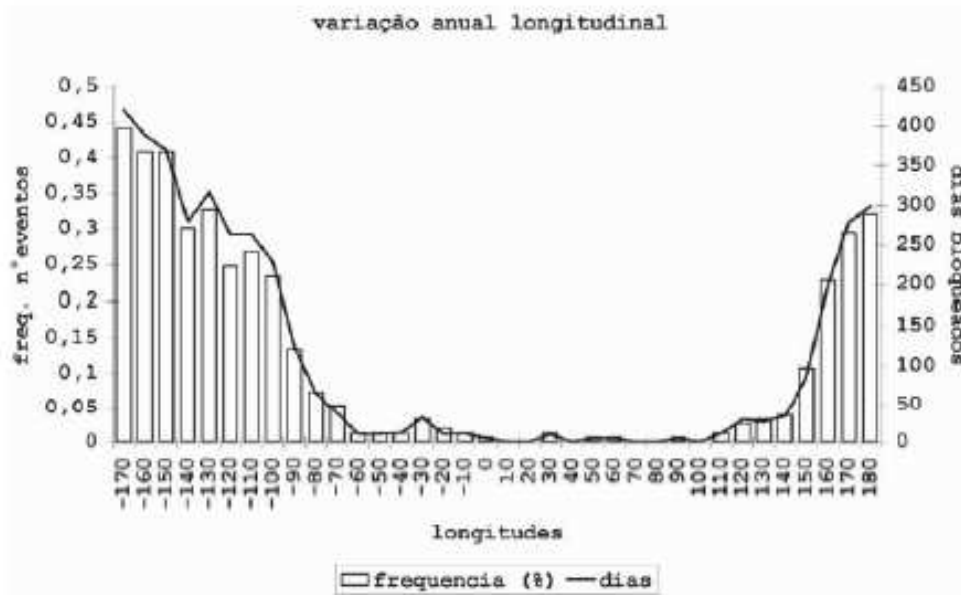
Bloqueios

- Segundo Marques (1996), existem três tipos de padrões de bloqueio:
 - a) Tipo dipolo: constitui-se de um anticiclone de grande amplitude acompanhado de um ciclone no lado equatorial.
 - b) Tipo omega: constitui-se de um anticiclone entre dois ciclones na forma de uma letra Omega invertida no HS.
 - c) Bloqueio formado de uma crista estacionária de grande amplitude.



Bloqueios

- Quatro regiões preferidas para formação de bloqueios no HS: região da Austrália, Nova Zelândia e Pacífico Sudoeste (120E-120W); Pacífico Sudeste (120W-80W); Oceano Atlântico (80W-10W) e Oceano Índico (70E-120E).
- Sobre o Pacífico Sul (180W-80W) os eventos de bloqueios se concentram praticamente entre as longitudes de 180W-120W (Pacífico Sudoeste).

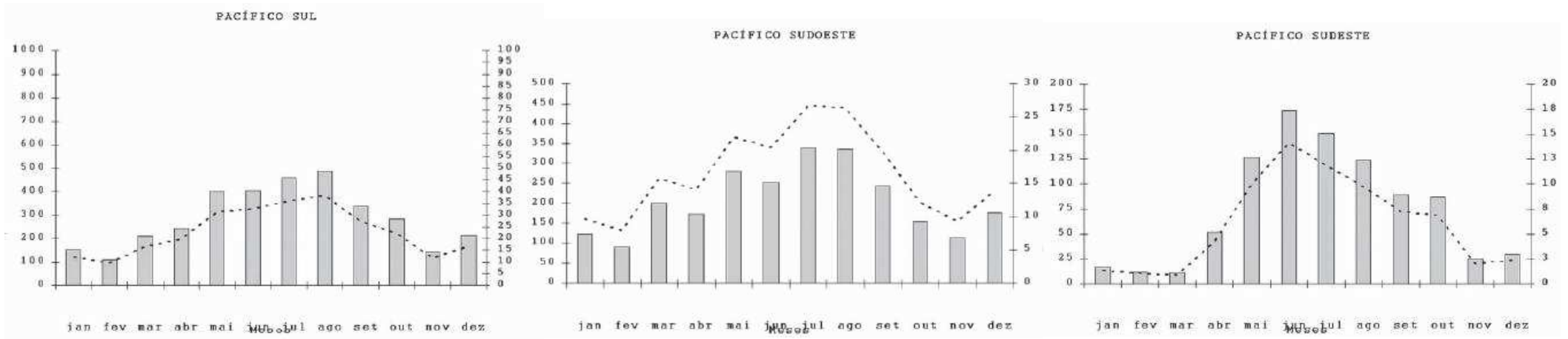


Distribuição longitudinal de frequência (linhas) de eventos de bloqueios (em porcentagem) e de dias bloqueados (colunas) para o período de 1960-2000 (Mendes et al, 2005).

Esquema gráfico longitudinal das áreas de estudo (Mendes et al, 2005).

Bloqueios

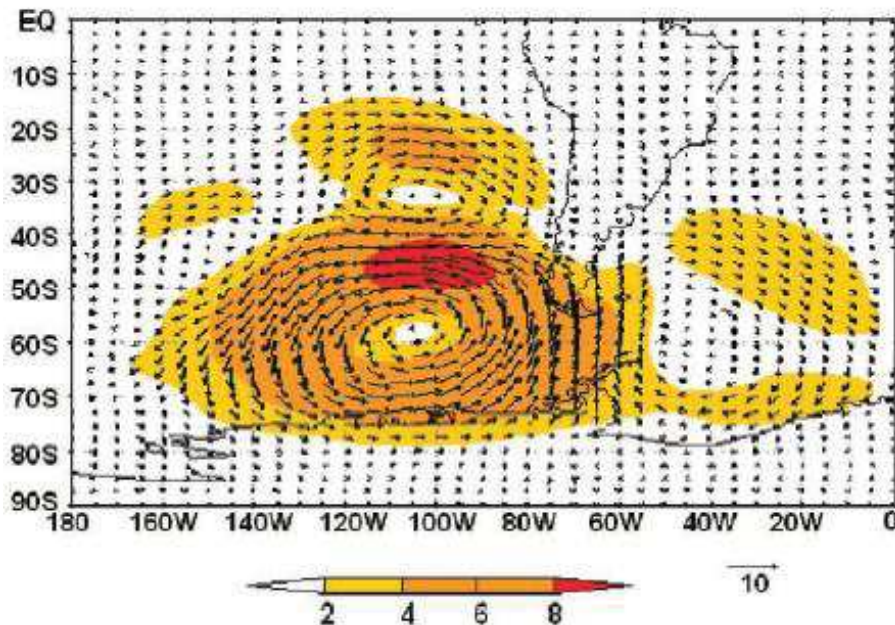
- Maior ocorrência de eventos e de número de dias bloqueados nos meses de inverno e início da primavera para o Pacífico Sudeste e Sudoeste;
- O conceito de dia bloqueado (*Tibaldi et al., 1994; Renwick, 1998; Trigo et al., 2004 e Wiedenmann et al., 2002*) refere-se ao “dia” onde o índice de bloqueio foi verificado, enquanto que cada episódio de bloqueio corresponde à somatória dos dias bloqueados, desde que seja verificado um mínimo de 5 dias.



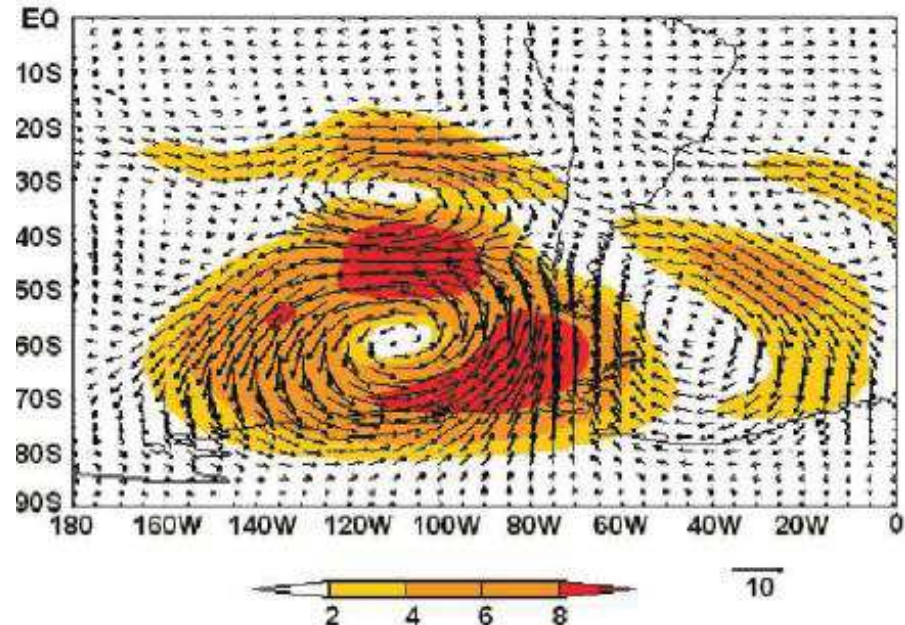
Variabilidade mensal dos dias bloqueados (colunas) e da frequência dos eventos de bloqueios (linhas) para: Pacífico Sul, Sudoeste e Sudeste do Pacífico Sul (Mendes et al, 2005).

Bloqueios

- Em 850hPa e 200hPa: circulação anticiclônica (60S) e ciclônica (30S). Se estendem de forma barotrópica dos baixos aos altos níveis, sendo mais intensa em altos níveis, confirmando a localização quase-estacionária dos eventos de bloqueios.



Compostos de 41 anos (1960-2000) nos meses de inverno sobre o Pacífico Sudeste: Anomalia do vento e da magnitude (ms^{-1}) em 850hPa (Mendes et al, 2005).

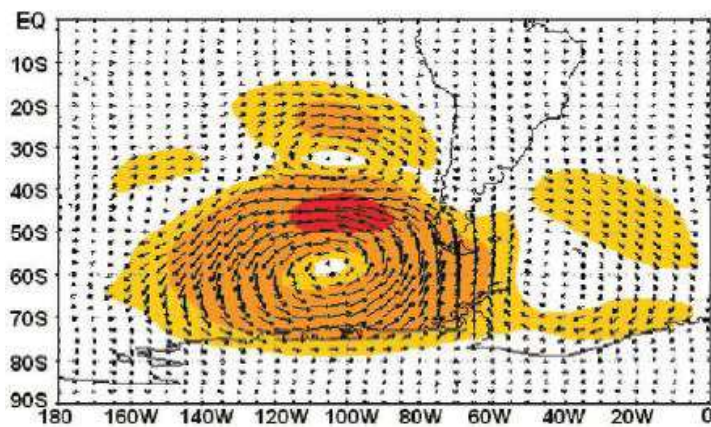


Anomalia do vento e da magnitude (ms^{-1}) em 200hPa (Mendes et al, 2005).

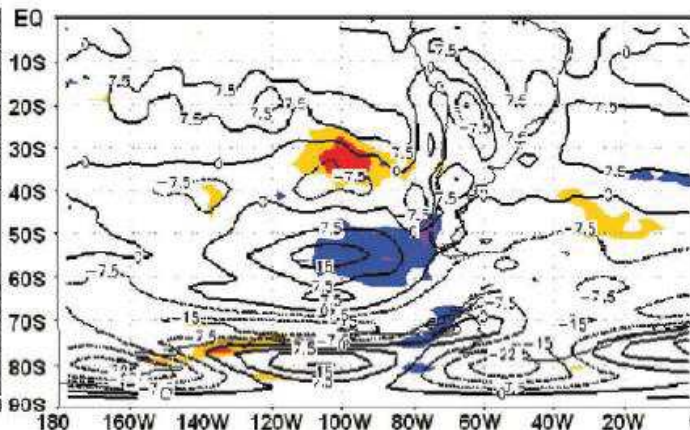
Bloqueios

- No flanco equatorial do bloqueio, o vento em altos níveis é praticamente zonal, compreendendo uma grande área longitudinal, que pode favorecer o caminho para sistemas transientes (tempestades/storm tracks), (*Trenberth, 1986b; Marques, 1996*);
- Anomalias positivas de precipitação ocorrem na região de saída do jato e do cavado ao norte do anticiclone de bloqueio. Estas anomalias podem estar relacionadas à passagem de sistemas transientes ao norte da alta de bloqueio;
- Típica bifurcação do jato em altos níveis e uma região de ventos mais fracos na área do anticiclone de bloqueio;
- O anticiclone de bloqueio pode ser observado pela região de anomalias positivas de PNMM da ordem de 10hPa. Nota-se um centro de pressão baixa sobre o Atlântico Sudoeste, associado ao cavado anômalo a leste do anticiclone de bloqueio;
- Padrão tipo dipolo nos compostos da vorticidade relativa em baixos níveis, com anomalias positivas (negativas) na região do anticiclone de bloqueio (no flanco equatorial).

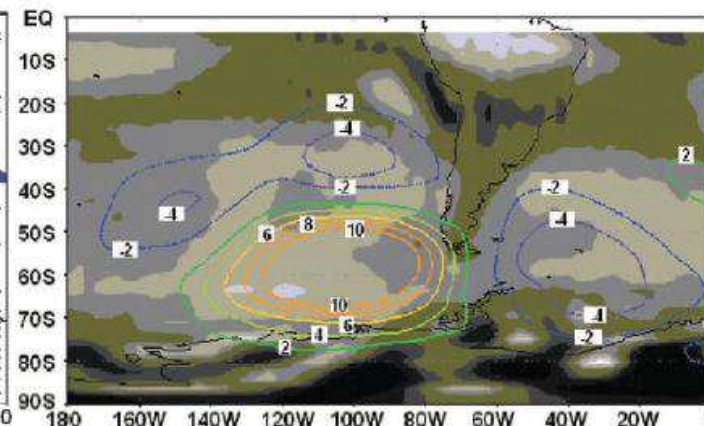
Bloqueios



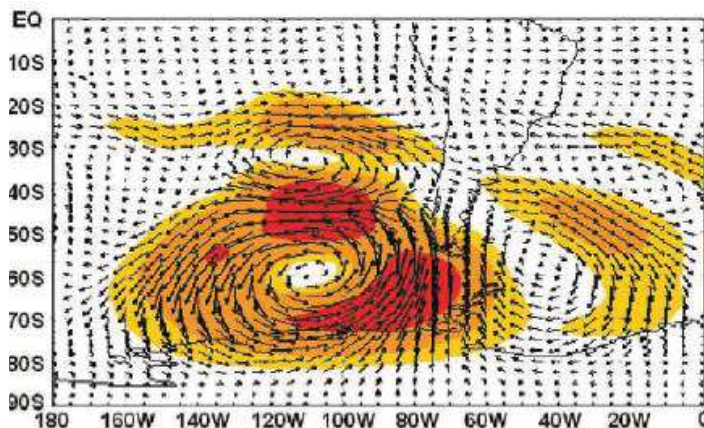
Anomalia do vento e da magnitude (ms^{-1}) em 850hPa.



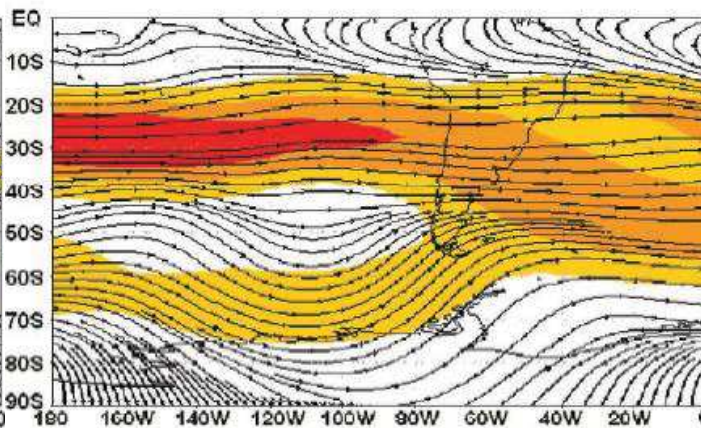
Anomalia da precipitação ($10^3 \text{kg/m}^2/\text{s}$) e vorticidade (10^6s^{-1}) em 850hPa.



Anomalia da PNMM (hPa) e cobertura de nuvens em percentagem.



Anomalia do vento e da magnitude (ms^{-1}) em 200hPa.

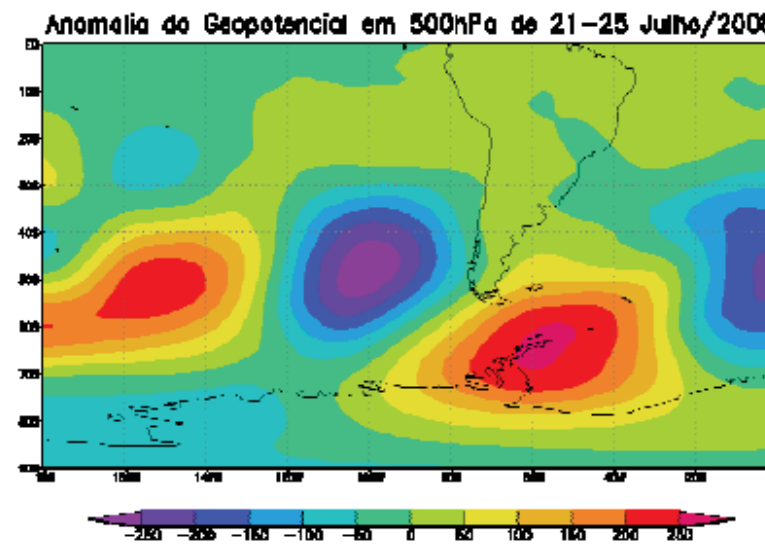
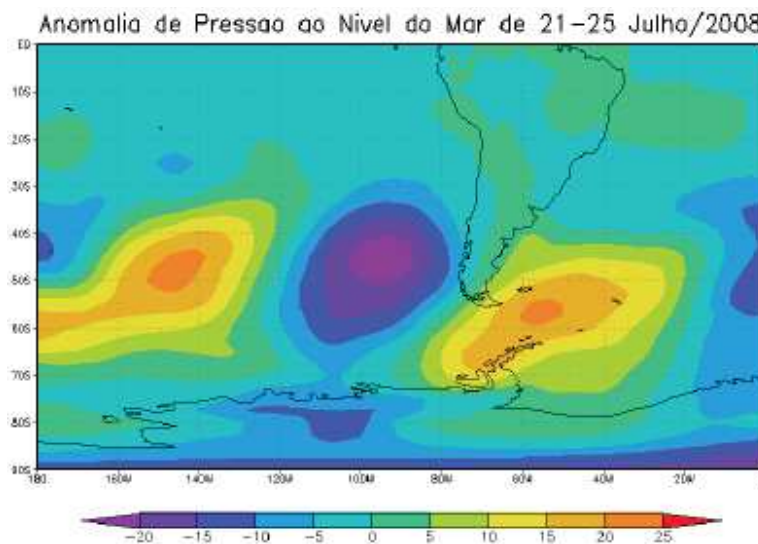
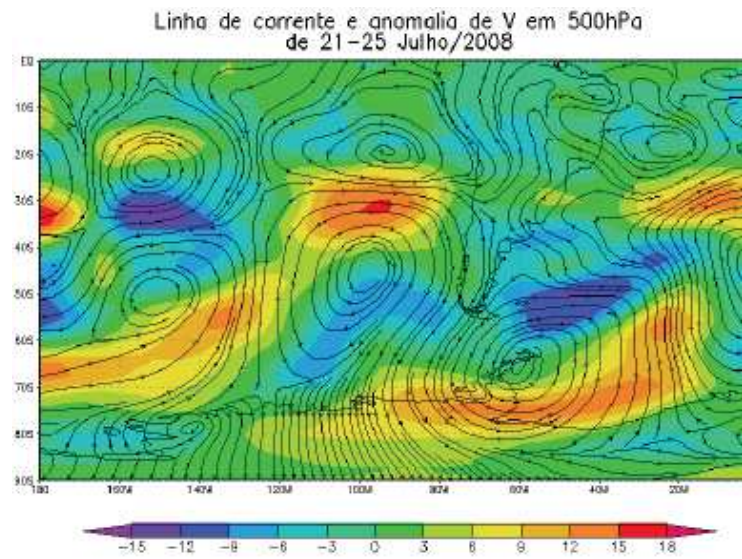
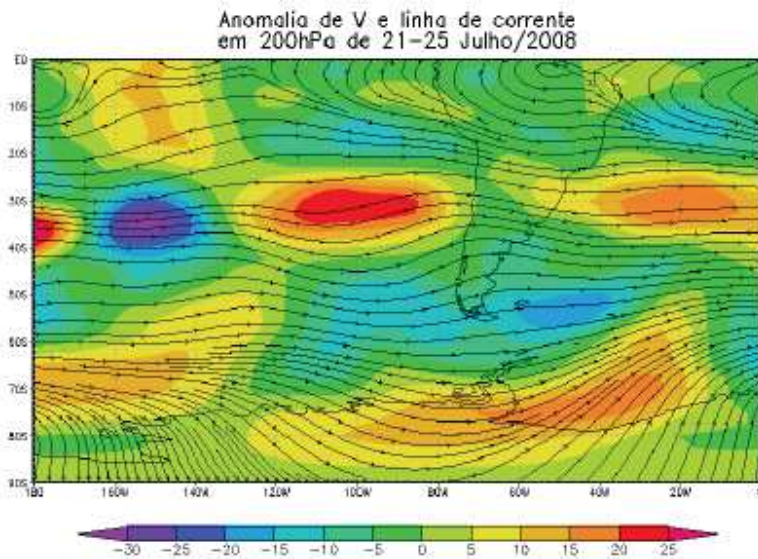


Linha de corrente e magnitude do vento em 200hPa.

- Composto de 41 anos (1960-2000) nos meses de inverno sobre o Pacífico Sudeste (Mendes et al. 2005)

Bloqueios

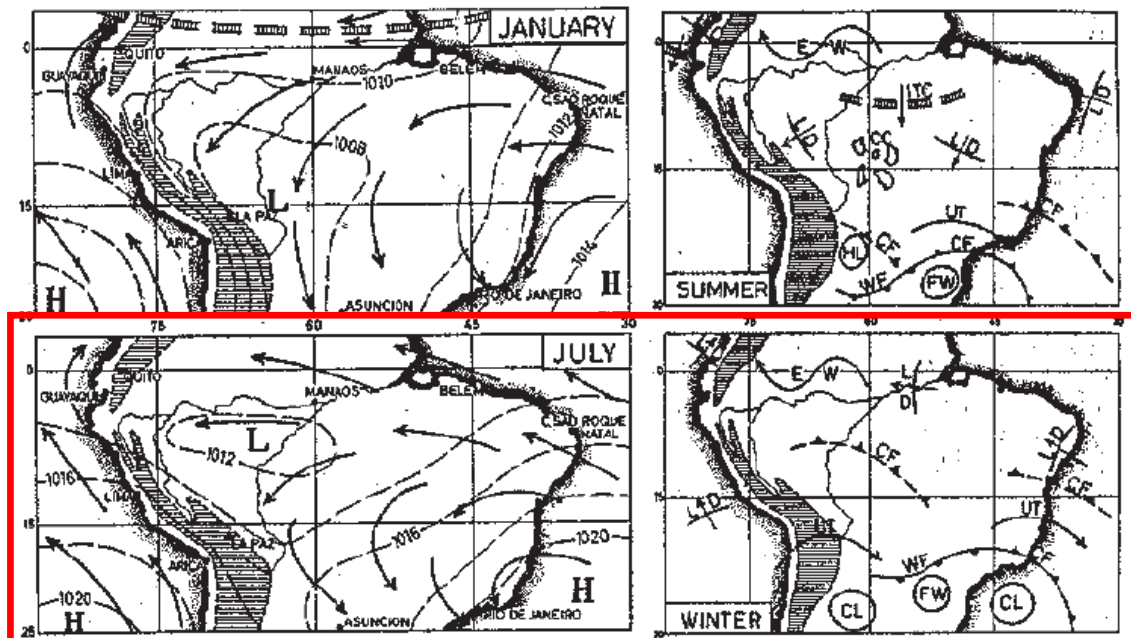
- Composto para pênitida de 21 a 25 de julho de 2008.



Linha de corrente e anomalia do vento em 200hPa (m/s), linha de corrente e anomalia do vento em 500hPa (m/s), anomalia de PNMM (hPa) e anomalia do geopotencial em 500hPa (J/kg (Lima e Yaguchi, 2008).

Clima do Brasil - Inverno

- Vento sudeste constante cruzando o equador;
- ZCIT mais ao norte;
- ASAS com curvatura acentuada (intensificada);
- maior influência dos sistemas frontais a norte de 15°S e ocorrência de baixas desprendidas na Região Sul.



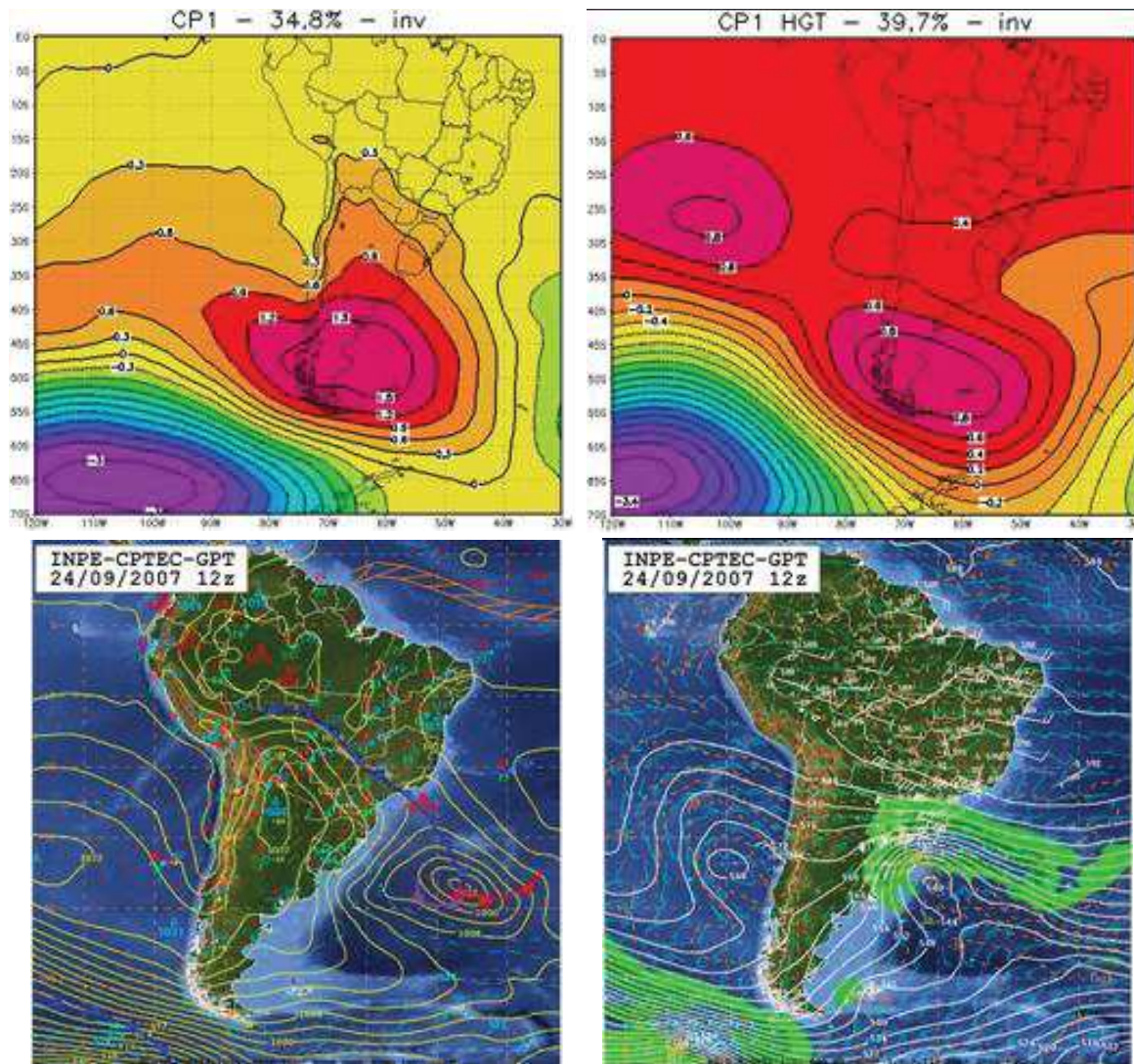
Julho

Clima do Brasil - Inverno

- Entre os meses de Maio e Setembro, o centro-sul do Brasil apresenta freqüentes incursões de ar frio associadas à ocorrência de temperaturas mínimas baixas e extremas.
- Após a passagem de um sistema frontal, pode haver a ocorrência de geadas, propiciadas pela entrada de ar extremamente frio e seco, oriundo de regiões polares, através do anticiclone extratropical e tem efeitos devastadores na agricultura. Atingem principalmente a Região Sul, sul de MS e de MG e o centro-oeste de SP (*Marengo et al., 1997; Pezza e Ambrizzi, 2005; Escobar, 2007*).
- As chuvas mais significativas ficam restritas à Região Sul, especialmente RS e SC.
- Grande parte das Regiões Sudeste e Centro-Oeste apresentam valores baixos de UR, principalmente a partir de meados do mês de julho onde a radiação solar começa a ganhar importância nessas regiões.

Clima do Brasil - Inverno

- Escobar (2008): principais padrões de circulação associados à ocorrência de eventos meteorológicos extremos sobre o Centro-Sul do Brasil durante o inverno de 2007 (mai-set).

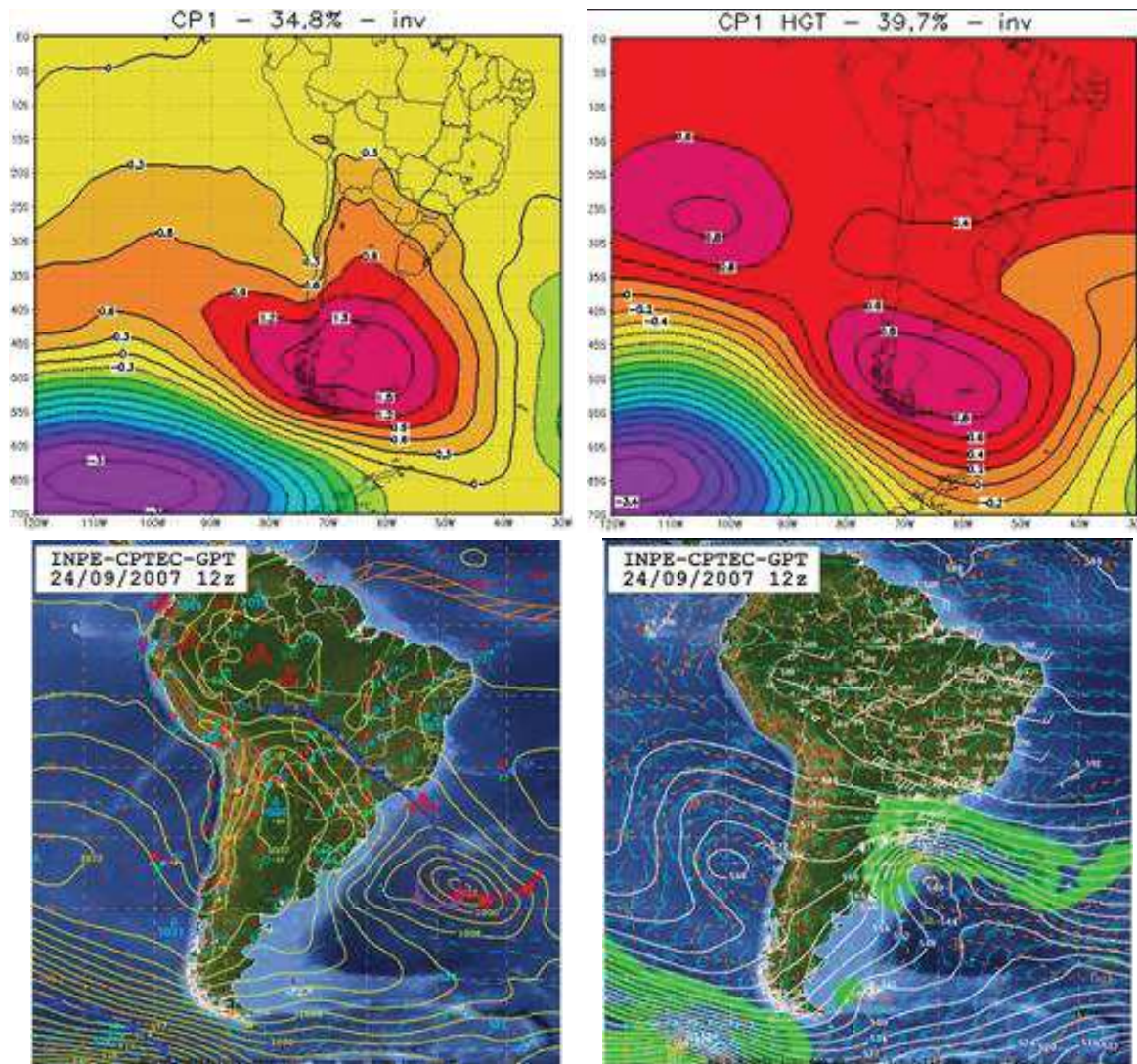


➤ 1º Padrão de Circulação

- Em superfície: um intenso anticiclone sobre o centro-sul da AS e uma baixa pressão associada à uma frente fria. Os ventos de sudeste, resultante da combinação de ambos os sistemas de pressão, transportam ar frio marítimo desde o Atlântico Sul até regiões tropicais provocando fortes declínios de temperatura. Este fenômeno é conhecido como “friagem”.
- Em 500hPa: um intenso anticiclone e um cavado se estendem desde o Atlântico em direção ao continente => refletem a frente fria descrita no campo de superfície => configuração de tipo “Bloqueio” => o ar frio tende a persistir por vários dias sobre AS.

Clima do Brasil - Inverno

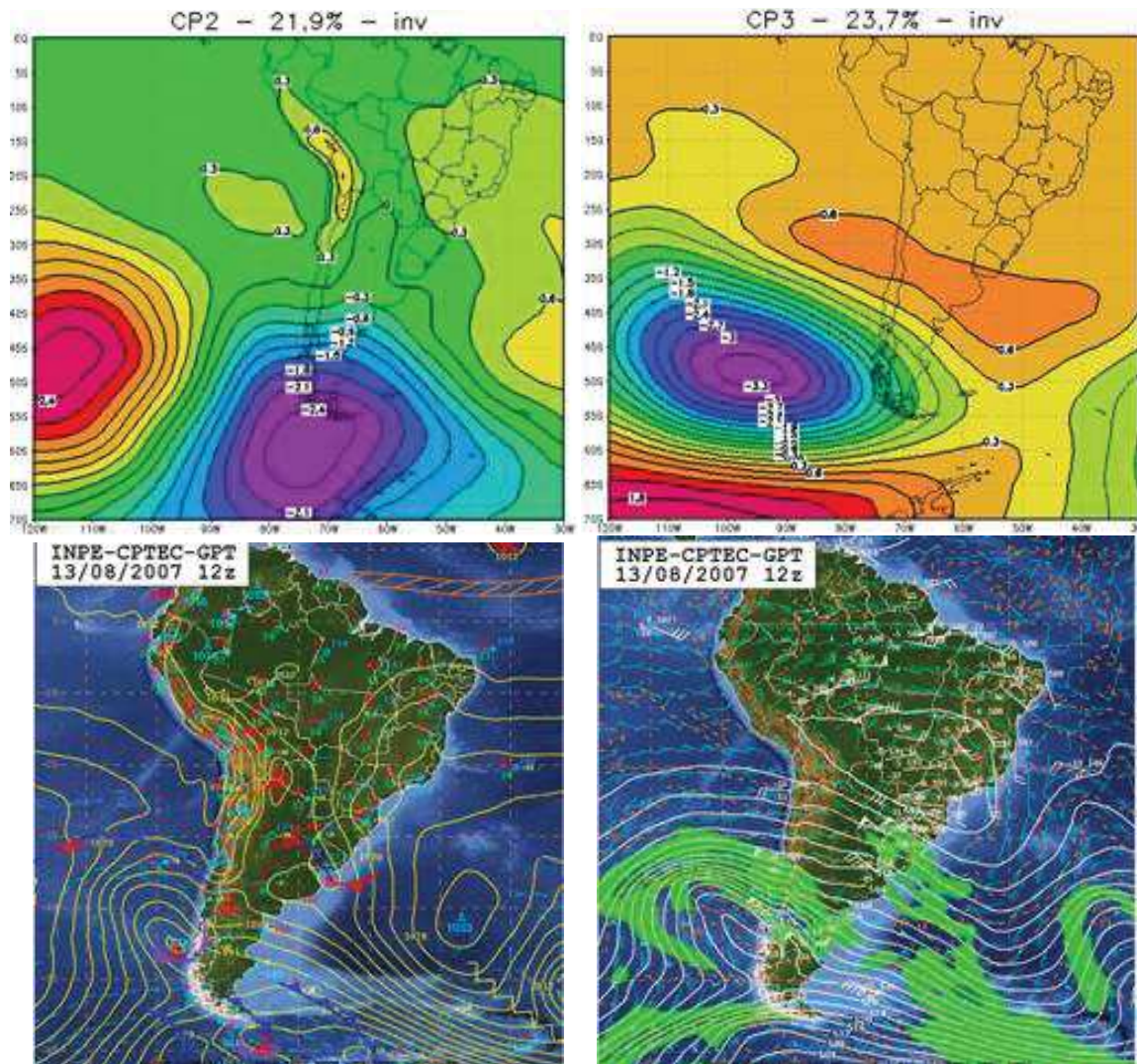
- Escobar (2008): principais padrões de circulação associados à ocorrência de eventos meteorológicos extremos sobre o Centro-Sul do Brasil durante o inverno de 2007 (mai-set).



- **1º Padrão de Circulação**
- Eventos de friagem sobre o Centro-Oeste e Norte do Brasil, com um intenso anticiclone centrado sobre o sul do continente que refletia em 500hPa e configurava uma situação típica de Bloqueio.

Clima do Brasil - Inverno

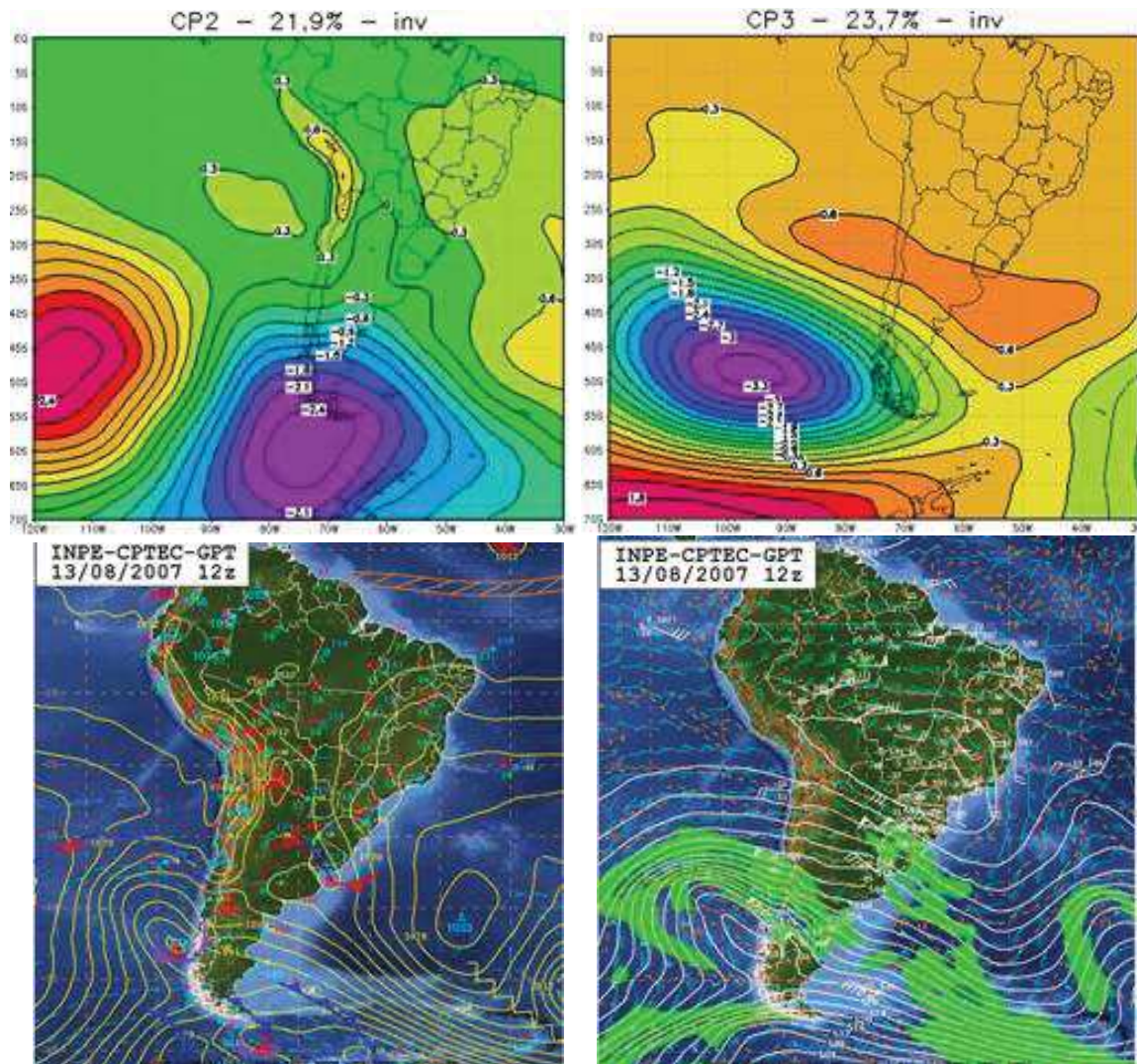
- Escobar (2008): principais padrões de circulação associados à ocorrência de eventos meteorológicos extremos sobre o Centro-Sul do Brasil durante o inverno de 2007 (mai-set).



- **2º Padrão de Circulação**
- Valores baixos de pressão em superfície aosul de 40S. Presença de altas pressões sobre as Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, associadas à ASAS que consegue penetrar pelo interior do continente.
- Em 500hPa: valores de alta pressão ao norte de 40S. Este padrão sinótico impede que os sistemas transientes penetrem até latitudes mais baixas, ficando mais restritos ao sul do continente. A ASAS posicionada desta maneira ajuda a manter o tempo mais seco e quente sobre o Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, que favorece a diminuição da UR.

Clima do Brasil - Inverno

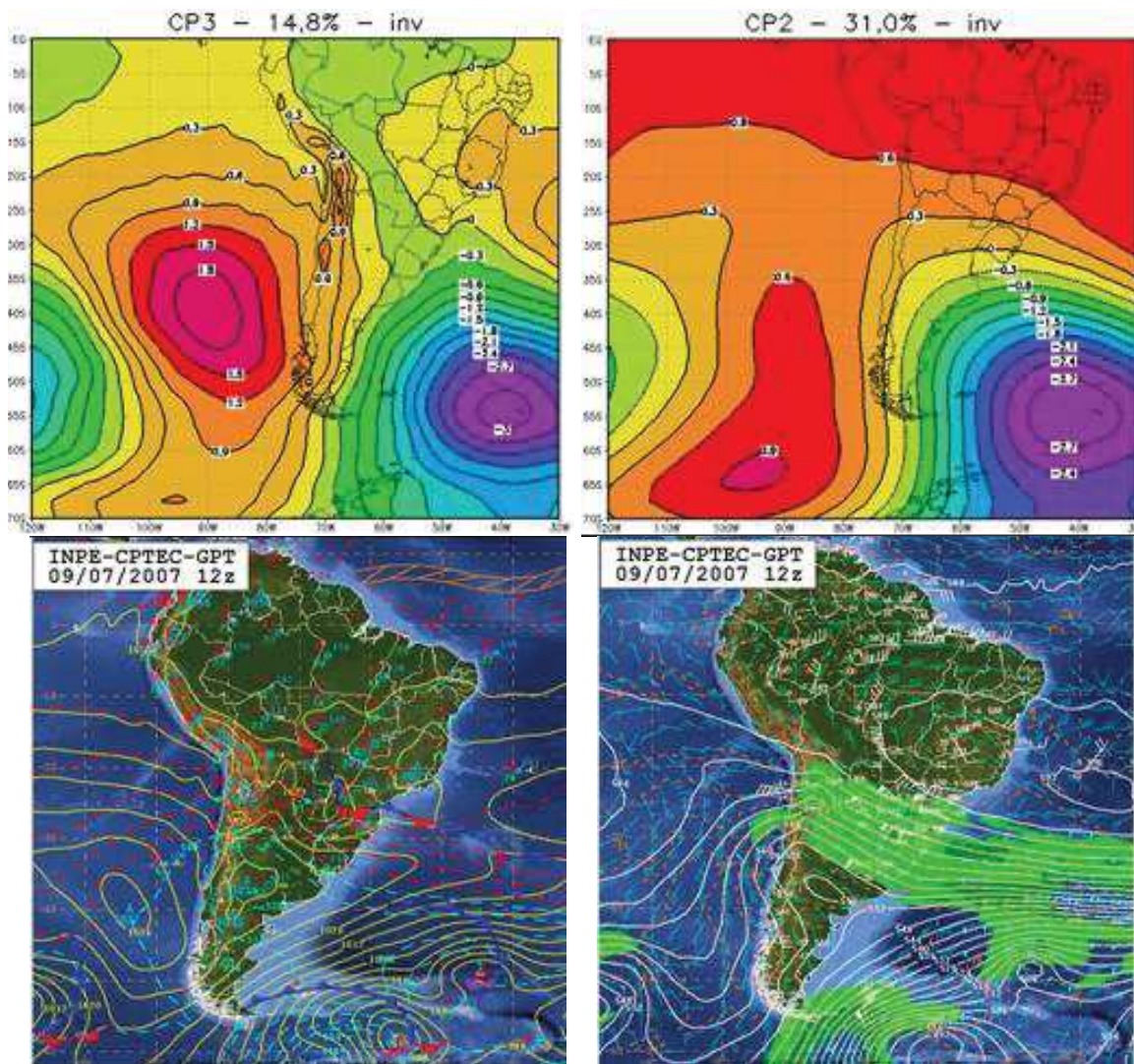
- Escobar (2008): principais padrões de circulação associados à ocorrência de eventos meteorológicos extremos sobre o Centro-Sul do Brasil durante o inverno de 2007 (mai-set).



- **2º Padrão de Circulação**
- Presença da ASAS deslocado em direção ao interior do continente, impedindo o avanço de sistemas transientes desde o sul do continente. Em altitude, uma intensa crista intensifica a borda ocidental da ASAS. Houve registros de eventos com UR abaixo de 20% nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste.

Clima do Brasil - Inverno

- Escobar (2008): principais padrões de circulação associados à ocorrência de eventos meteorológicos extremos sobre o Centro-Sul do Brasil durante o inverno de 2007 (mai-set).

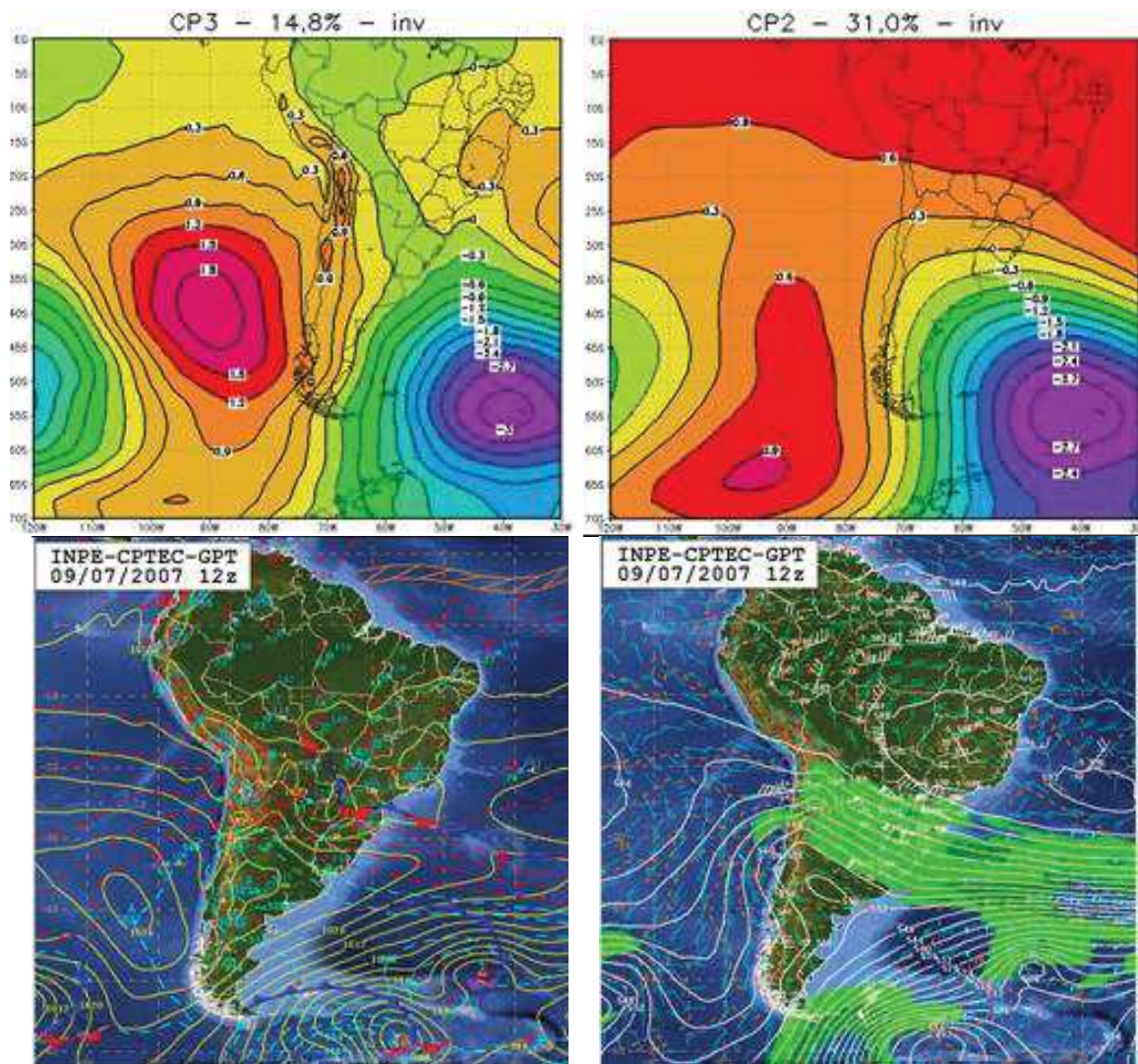


➤ 3º Padrão de Circulação

- Em superfície: um intenso anticiclone centrado em 40S-90W e uma intensa área de baixa pressão no Atlântico Sul. Os ventos de quadrante sul, resultante da combinação de ambos os sistemas de pressão, transportam ar frio continental (muito frio e seco).
- Em 500hPa: uma intensa crista no Pacífico e um intenso cavado no Atlântico, cujo eixo se estende desde o sudeste até o noroeste => estabelece-se um padrão de circulação de onda amplificado determinando um padrão sinótico associado a uma intensa onda de frio e/ou com frentes frias intensas que ingressam sobre o Sudeste e Centro-Oeste do Brasil provocando eventos de tempo severo.

Clima do Brasil - Inverno

- Escobar (2008): principais padrões de circulação associados à ocorrência de eventos meteorológicos extremos sobre o Centro-Sul do Brasil durante o inverno de 2007 (mai-set).



➤ 3º Padrão de Circulação

- Ondas de frio sobre o centro-sul do continente, porém apresentando um fluxo mais intenso de quadrante sul e com características continentais. Uma intensa crista localizada no Pacífico próxima da costa do Chile e um profundo e amplificado cavado sobre o Atlântico, determinam um intenso fluxo do sul que conduz os sistemas transientes até latitudes mais baixas.