

Universidade de São Paulo – USP
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG
Departamento de Ciências Atmosféricas – ACA
Meteorologia Sinótica

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 de grande escala responsável pelo regime de chuvas sobre as Regiões Sul e Sudeste do Brasil durante os meses de primavera e verão;
- Estruturas semelhantes são encontradas no Pacífico Sul e Índico Sul, sendo que a ZCIS não é tão marcante quanto as demais;
- Estudos prévios mostram o importante papel dessas bandas de nebulosidade na transferência de calor, momento e umidade dos trópicos para as latitudes mais altas;
- 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 hP;

- 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);
- Observações indicam evidente associação entre períodos de enchentes de verão na região sudeste e veranicos na região sul com a permanência da ZCAS por períodos prolongados sobre a região sudeste; por outro lado, períodos extremamente chuvosos no sul coincidem com veranicos na região sudeste, indicando a presença de ZCAS mais ao sul;
- Padrão de dipolo entre anomalias de precipitação nas regiões sul e sudeste devido à influência da ZCAS.

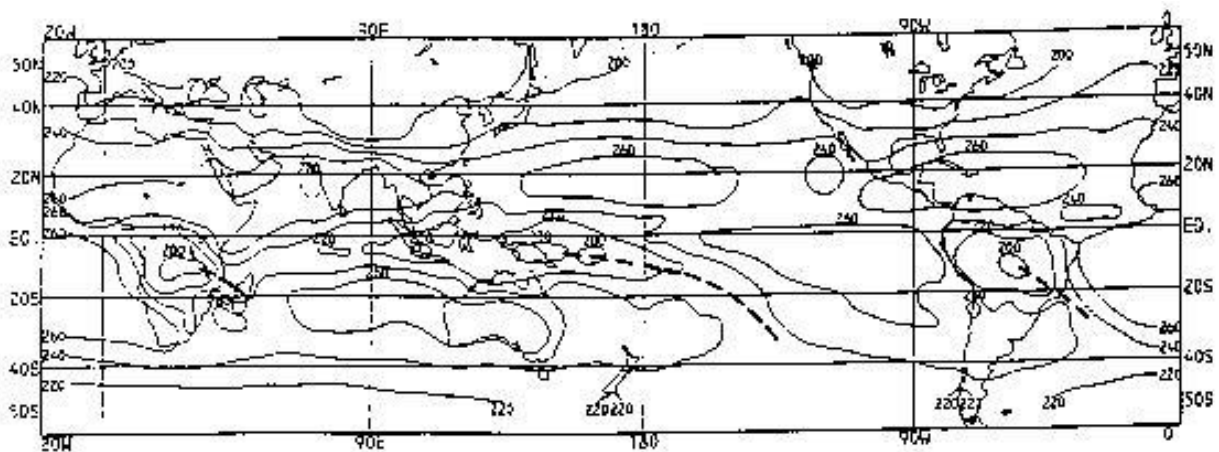


Figura 1: Campo médio de OLR, para o mês de Janeiro (período base de 1974 a novembro de 1983). O intervalo de contorno é de 20 W m^{-2} , com valores maiores que 280 W m^{-2} , dado por linhas pontilhadas. Fonte: Janowiak *et al.*, 1985.

- 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).
- 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.

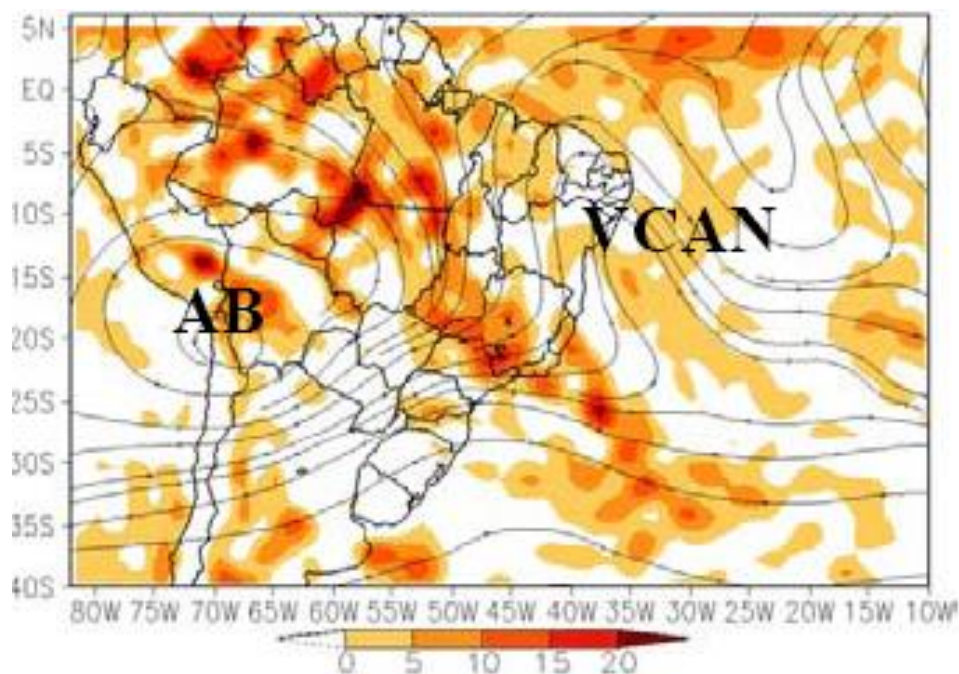


Figura 2: Campo médio de linha de corrente e divergência do vento no nível de 200mb: média de 01/01 a 08/01 de 2006. Fonte: Seabra et al, 2006.

Circulação durante o verão

Níveis baixos: escoamento de norte-noroeste que começa junto à encosta leste dos Andes e se prolonga até a região sudeste do Brasil em forma de jato, sendo muito importante para o transporte de umidade da região amazônica para o Brasil Central e regiões sul-sudeste.

Níveis altos: circulação anticiclônica (Alta da Bolívia) e um cavado quase estacionário sobre o nordeste do Brasil.

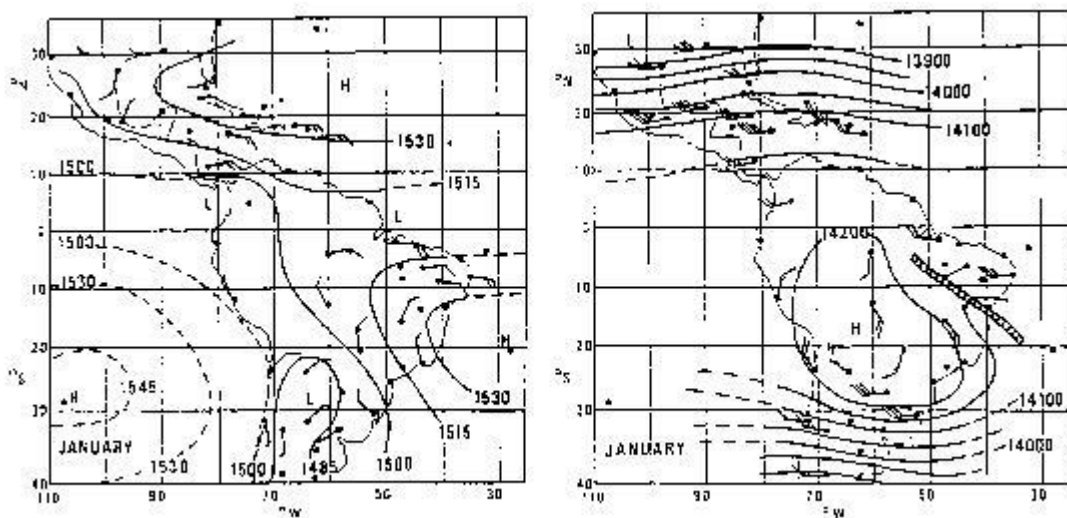


Figura 3: (a) Campo de altura geopotencial e vento em 850 hPa para o mês de janeiro (média de 1969-1978); (b) idem ao (a) para 150 hPa. Fonte: Nisbizawa e Tanaka, 1983.

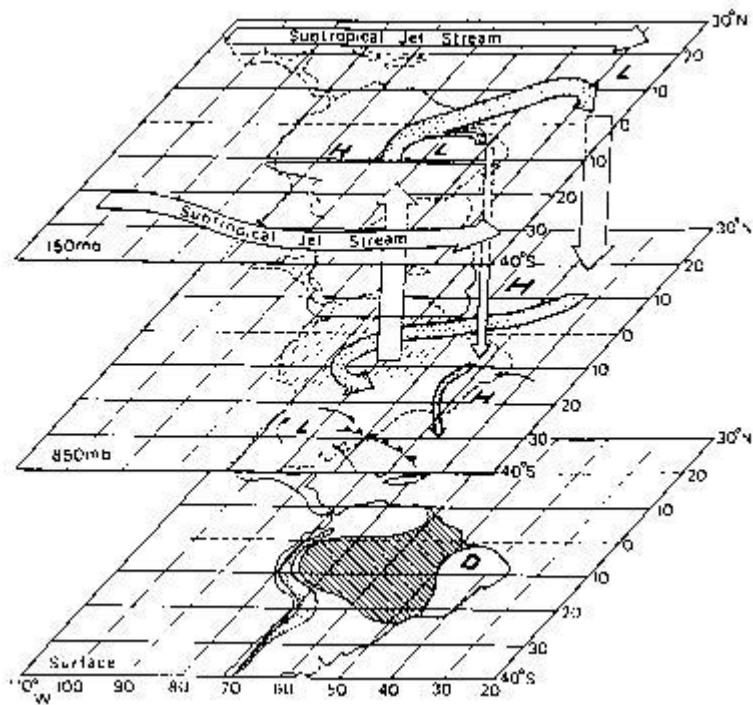


Figura 4: Padrão esquemático do escoamento sobre a América do Sul durante o verão. Fonte: Nishizawa e Tanaka, 1983.

- Predomínio de células de Hadley com presença de células de Walker;
- Parcelas oriundas da Alta Subtropical do Atlântico Norte entram na bacia amazônica, sofrem deflexão por Coriolis, pelos Andes e pela Alta Subtropical do Atlântico Sul;
- Neste escoamento para sudeste, as parcelas se elevam conforme o conceito de esteira transportadora úmida, a qual pode ser identificada como a banda de nebulosidade associada à ZCAS (fenômeno semelhante ocorre no verão do HN sobre o Pacífico Oeste: “Baiu Front”);

- A formação da Alta da Bolívia (alta quente) se dá pela intensa liberação de calor latente da convecção no Brasil Central e pelo aquecimento no altiplano boliviano;
- As parcelas que inicialmente se situam a leste da AB alcançam o equador, sendo desviadas para leste por Coriolis; deste ponto podem seguir para o HN sobre a Alta Subtropical do Atlântico Norte (caracterizando circulação de Hadley) ou retornar para o HS sobre a Alta Subtropical do Atlântico Sul (circulação de Walker);
- A magnitude do JST em torno de 30°S está ligada à atividade convectiva e sua posição está relacionada com a borda da AB;
- A intensidade do cavado sobre o nordeste do Brasil está bem correlacionada com a intensidade da AB; além disso, existe uma extensão para sul deste cavado e uma região mais a leste com vortacidade anticiclônica sobre o Atlântico central;
- Todas essas características estão inter-relacionadas e dependem diretamente da atividade convectiva na Amazônia/Brasil Central e na região da ZCAS sobre o sul-sudeste;
- Existe, portanto um suporte dinâmico oferecido por um cavado de ar superior, principalmente na região compreendida entre a região sul-sudeste e a extensão da ZCAS sobre o Atlântico;

Identificação da ZCAS

- Forte indício de confluência entre o ar da Alta Subtropical do Atlântico Sul e o ar oriundo de latitudes mais altas; esta confluência deve estar acompanhada de convergência de umidade e nebulosidade;
- Em níveis superiores, a configuração mais favorável corresponde a um cavado a leste dos Andes de maneira que a divergência em altitude seja incentivada;
- Além disso, deve haver persistência de pelo menos 4 dias desta configuração, pois caso contrário a confluência pode ter sido gerada pela penetração de um sistema frontal;
- A ZCAS nem sempre apresenta estrutura típica de um SF ao analisar os gradientes de temperatura; porém o contraste de umidade em geral pode ser identificado, principalmente se for utilizada a temperatura potencial equivalente;
- As observações indicam que a ZCAS tende a se posicionar mais ao norte no início do verão, deslocando-se posteriormente para o sul podendo variar até 10-15 graus de latitude; isto resulta em situações distintas para determinados locais, conforme a região de estacionariedade da ZCAS;
- Variáveis físicas utilizadas para estudar a ZCAS:
 - Cobertura de nuvens;
 - Temperatura de brilho;
 - Radiação de onda longa (ROL);

- Precipitação;
- Ventos zonal e meridional, umidade relativa, Omega, entre outras.

Origem e manutenção da ZCAS

Análise dos mecanismos candidatos a importantes postos na formação e persistência da ZCAS:

- Liberação de calor latente na América do Sul:
 - A dinâmica da ZCAS indica que o aquecimento localizado sobre o continente da AS exerce papel fundamental para as zonas de confluência;
 - Em estudos numéricos prévios, a resposta estacionária de um modelo atmosférico a uma forçante simétrica e localizada de calor, com estado básico semelhante ao observado na AS e sem topografia, indica a formação de um cavado na baixa troposfera orientado na direção da ZCAS e também a formação de um anticiclone em ar superior (neste caso, a advecção de vorticidade planetária tem papel importante na resposta assimétrica à forçante simétrica);
 - Uma vez estabelecido o cavado orientado, inicia-se a convecção organizada em forma de banda e a partir daí é possível que a convecção adquira um caráter quase-estacionário tendo em vista o mecanismo CISK;
 - Trata-se, portanto de um sistema em que há importante influência do acoplamento entre a escala convectiva (que fornece o aquecimento da atmosfera via liberação de calor latente) e a dinâmica que permite o abaixamento da pressão

contribuindo para a manutenção e intensificação da convergência de massa e vapor d'água que sustenta a própria convecção;

- A princípio, o estabelecimento de condições quase estacionárias a partir de intensa liberação de calor latente é aparentemente contraditório no sentido que fenômenos altamente convectivos tendem a excitar modos atmosféricos de alta frequência (ondas de gravidade); para esclarecer esta dúvida, uma análise do efeito da liberação de calor latente num modelo simplificado da atmosfera, baseado em equações de águas rasas linearizadas com relação a um estado básico em repouso com altura média constante H , cuja parametrização da liberação de calor latente se dá pela inclusão de um termo de fonte de massa proporcional à divergência:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - fv + \frac{\partial \Phi}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + fu + \frac{\partial \Phi}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + gH \nabla \cdot \vec{V} = \alpha \nabla \cdot \vec{V}$$

Analisando a equação do geopotencial, nota-se que o papel da liberação de calor latente corresponde a uma diminuição da altura equivalente H para a altura equivalente efetiva H_{ef} :

$$gH_{ef} = gH - \alpha$$

Esta diminuição da altura equivalente tem efeito dinâmico que pode ser visto através do raio de deformação de Rossby ($\lambda = \sqrt{gH/f}$),

o que significa que perturbações que são pequenas com relação ao raio de deformação calculado com a altura equivalente H , podem ser grandes ao incorporar o efeito da liberação de calor latente que diminui a altura equivalente para H_{ef} .

Assim a maior parte da energia da convecção é projetada nos modos mais lentos que se tornam mais lentos devido à diminuição da altura equivalente efetiva; desta forma, sistemas convectivos organizados devem apresentar longos ciclos de vida se não forem sensivelmente perturbados.

- O movimento subsidente de compensação associado à presença de uma fonte de calor depende do perfil vertical dessa fonte; fontes de calor com pico de aquecimento em níveis médios e altos estão relacionadas a uma subsidência no lado SW da fonte, enquanto que se o pico de aquecimento for localizado em níveis mais baixos, o movimento subsidente vai ocorrer predominantemente no lado NE da fonte;
- O posicionamento do pico de aquecimento em episódios de ZCAS varia significativamente, mas em geral apresenta-se acima de 600hPa, podendo atingir 400hPa; isto indica que, na maioria dos casos, a subsidência associada a ZCAS ocorre no lado polar, exceto em estágios de dissipação quando a fonte apresenta pico nos níveis mais baixos induzindo subsidência no lado equatorial.

- Influências remotas na manutenção do cavado associado:
 - O estabelecimento do cavado a leste dos Andes não tem como principal mecanismo forçante a presença da barreira orográfica;
 - Os sistemas que provocam a formação de chuvas de verão na região sul-sudeste estão frequentemente associados à AB e ao cavado em altitude; por outro lado, períodos persistentes de chuvas/secas estão intimamente acoplados à presença de cavados/cristas em altitude e do JST; sendo assim é pertinente indagar se estes sistemas se devem a causas exclusivamente regionais ou se existe influência remota na definição do escoamento em altitude;
 - Estudos numéricos prévios mostraram uma forte conexão entre a posição da ZCPS no Pacífico Oeste/Central e o estabelecimento da ZCAS: alterações na posição da ZCPS podem levar à formação de ZCAS via o ancoramento favorecido pelo cavado em altitude;
 - Uma vez que a oscilação de Madden-Julian (ou oscilação de 30/60 dias) é uma possível forçante para a ZCPS, tem-se o fechamento dinâmico entre ZCAS e ZCPS;
 - Da mesma forma, a ZCAS pode exercer certo controle sobre a ZCIS.

- Efeito da Cordilheira dos Andes no escoamento de baixos níveis:
 - Um estudo numérico com um modelo em coordenada eta mostra que a influência dos Andes e a presença de uma fonte transiente de calor (com ciclo diurno) parecem ser decisivas no

posicionamento do campo de pressão na baixa troposfera em resposta à liberação de calor latente na Amazônia/Brasil Central;

- A Baixa do Chaco deve seu confinamento à existência da barreira orográfica imposta pelos Andes; a boa definição desta baixa e a barreira dos Andes implicam numa significativa deflexão do escoamento dos alísios, o que estabelece a chamada esteira transportadora que alimenta a convecção ao longo da ZCAS.
- Efeitos de temperatura da superfície do mar:
 - Existe um alinhamento da ZCAS com uma região de forte gradiente de TSM, o que torna possível a influência das configurações de TSM na ZCAS;
 - Porém, é possível que as anomalias de TSM sejam uma resposta oceânica à anomalia de vento à superfície do oceano, decorrente da própria ZCAS;
 - De qualquer forma, uma vez estabelecida a circulação típica de ZCAS, é razoável supor que haja uma realimentação positiva entre a circulação atmosférica e as anomalias de TSM, ancorando as configurações na atmosfera e no oceano.

Importância da ZCAS para a previsibilidade do tempo

A previsão do tempo e do clima em regiões tropicais sofre influência de sistemas nos quais a liberação de calor latente é energeticamente importante.

Para as regiões sul-sudeste no período de verão, a ZCAS tem importante papel na ocorrência de veranicos e enchentes severas; além

disso, existem modulações na escala intrasazonal e interanual que dão origem a significativas anomalias climáticas no Brasil.

O regime pluviométrico na região sul-sudeste sofre modulações devido à oscilação de 30/60 dias, o que promove períodos favoráveis de precipitação intensa e veranicos associados à ZCAS; no estado de São Paulo, por exemplo, os períodos mais úmidos dentro da estação chuvosa são caracterizados pela presença de ZCAS.

O processo teleconectivo entre ZCPS e ZCAS se dá numa escala temporal de 5 a 15 dias, o que indica que há potencial de previsibilidade de características gerais no período de verão.

Quanto à previsibilidade pelos modelos operacionais de escala global, pode-se dizer que ainda existem erros quantitativos significativos, provavelmente pelo fato de que os modelos ainda não são capazes de reproduzir adequadamente os perfis de aquecimento e que os esquemas de análise e assimilação de dados não sejam suficientemente precisos para reproduzir adequadamente a estrutura em mesoescala da ZCAS.

Campos de altitude e superfície

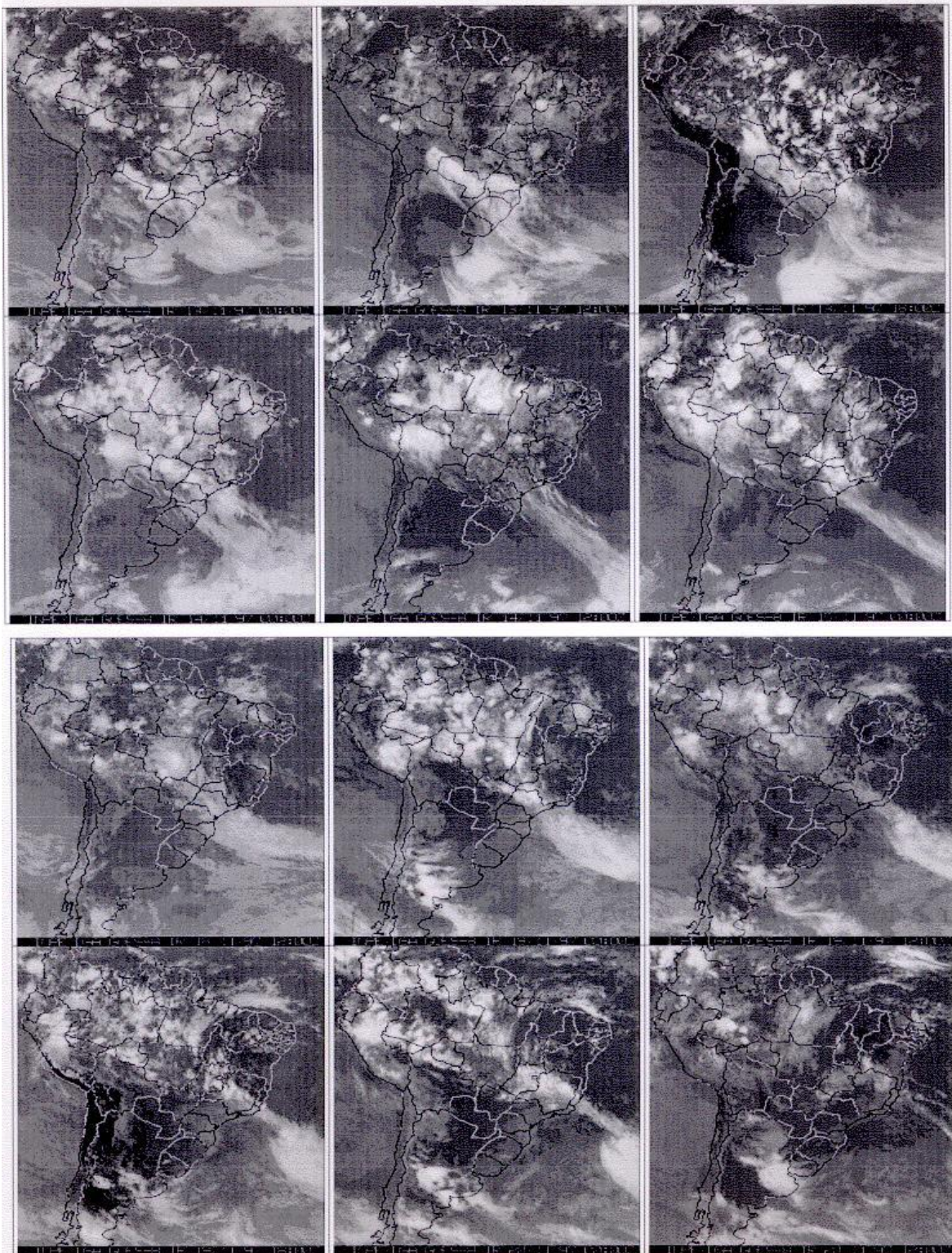


Figura 5

- Evento de fevereiro de 2000:

Figura 1- Imagens do satélite GOES -8 do dia 06 a 11 de fevereiro de 2000

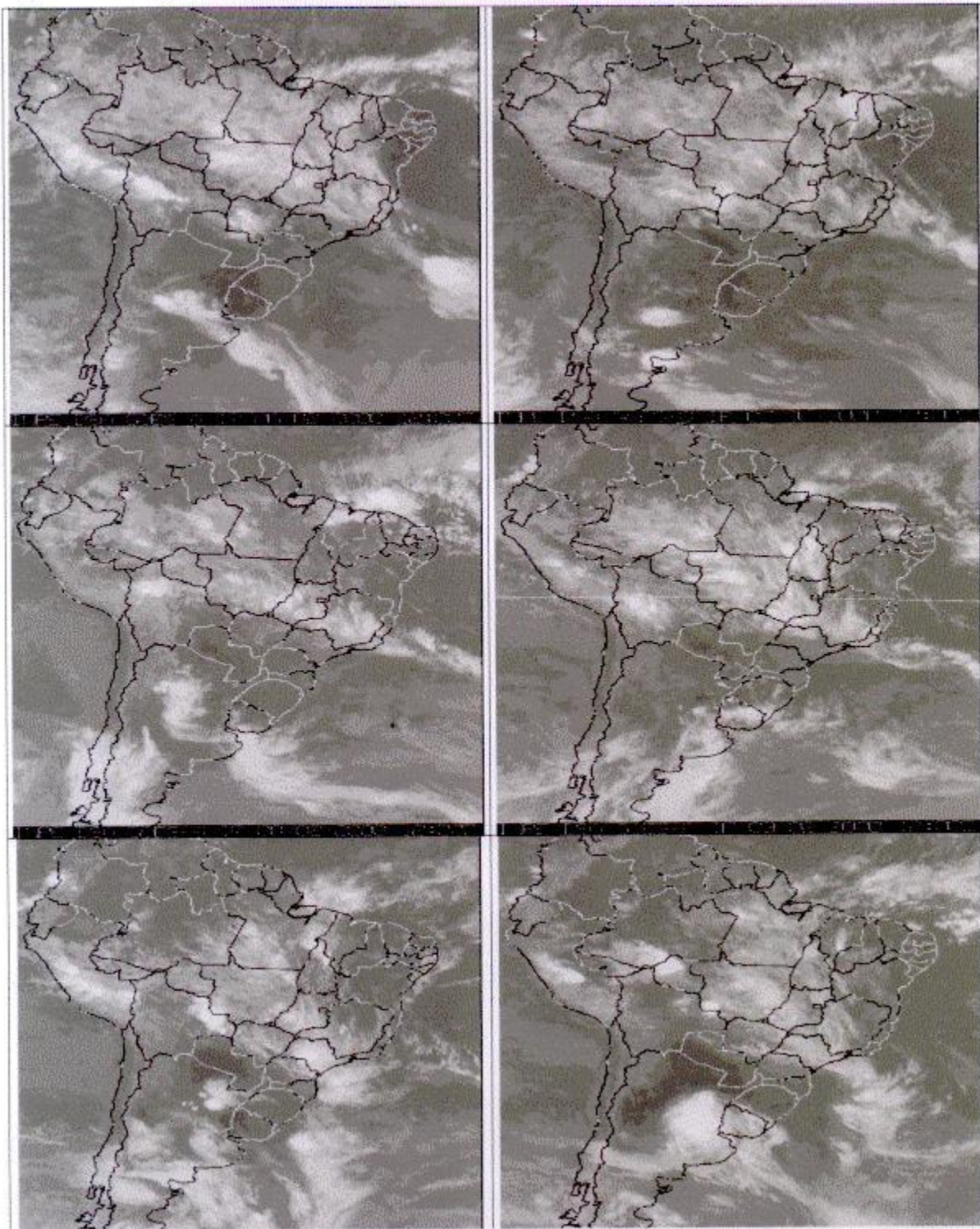
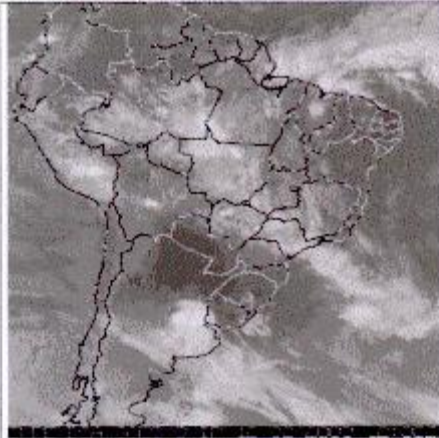
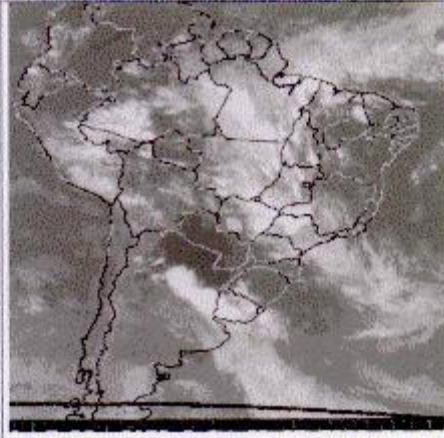


Figura 6

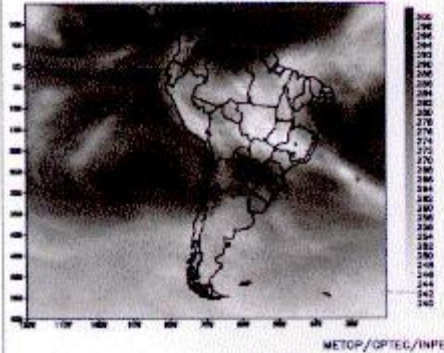


Imagens do Satélite GOES-8 no canal infravermelho para o dia 12 de FEVEREIRO/2000 às 00Z



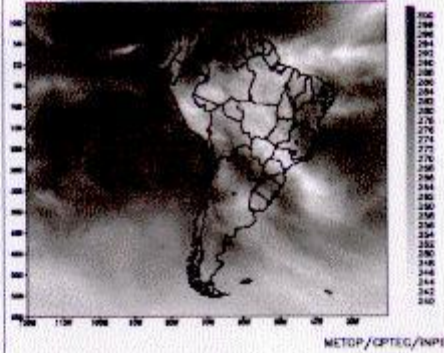
Imagens do Satélite GOES-8 no canal infravermelho para o dia 13 de FEVEREIRO/2000 às 00Z

Temperatura de brilho Média GOES 8 (K)
Pentada do período 06 - 10 /02/00



Pêntada para 6 a 10 de FEVEREIRO/2000 de Temperatura de Brilho Média (K). (FONTE: GOES 8)

Temperatura de brilho Média GOES 8 (K)
Pentada do período 11 - 15 /02/00



Pêntada para 11 a 15 de FEVEREIRO/2000 de Temperatura de Brilho Média (K). (FONTE: GOES 8)

Figura 7

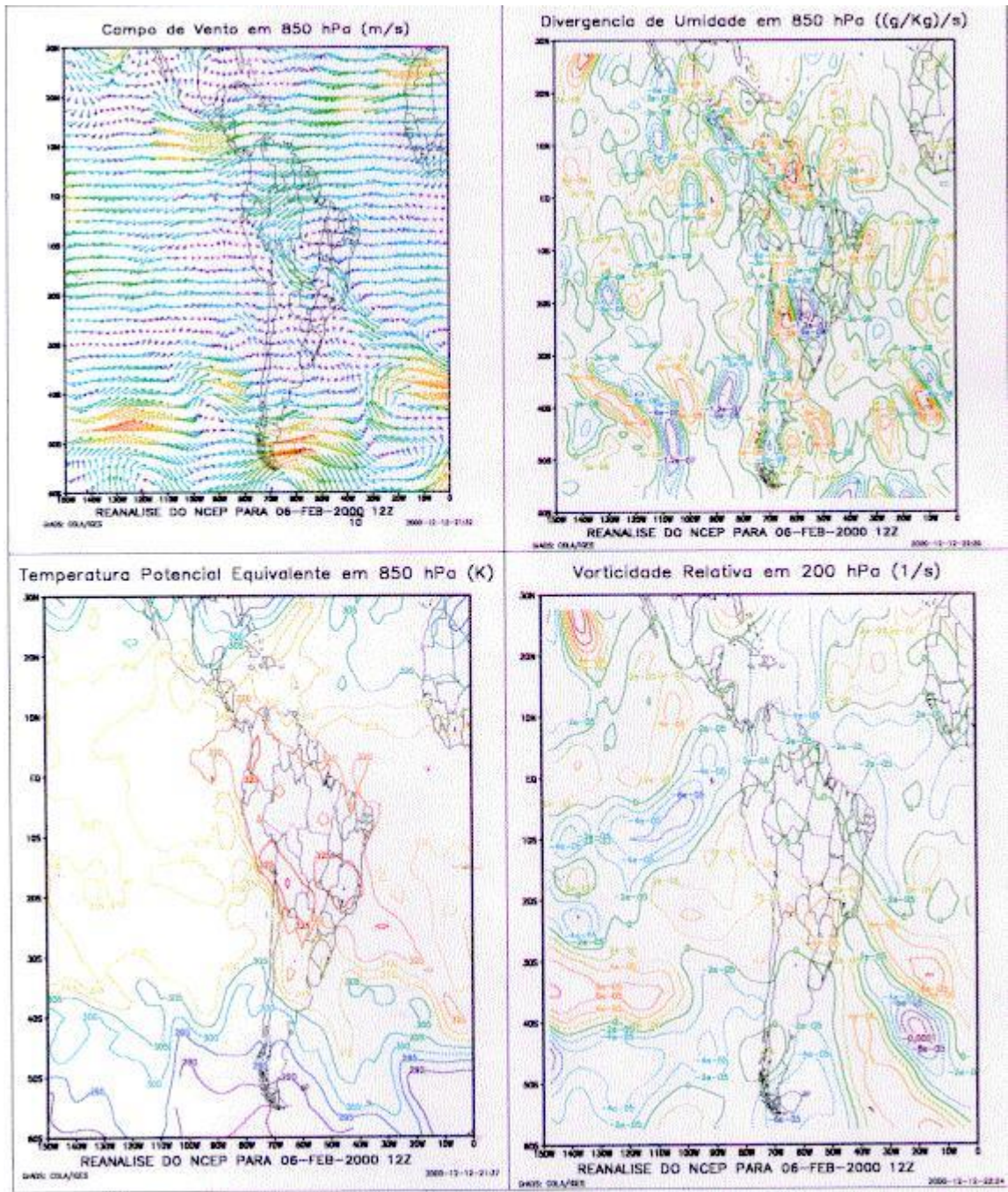


Figura 8

Questionário

- 1.** O que é ZCAS? Em que época do ano ela ocorre?
- 2.** Qual a extensão típica da ZCAS e qual a relação dela com a estação chuvosa, levando em conta a bacia de drenagem continental do Rio da Prata?
- 3.** Qual a relação entre a OLR (alta e baixa) com relação à nebulosidade? (Dica: Lembre da convecção profunda)?
- 4.** Explique o padrão dipolo das anomalias de precipitação em períodos de ZCAS.
- 5.** Quais os critérios para identificação de ZCAS?
- 6.** Fisicamente, quais os fatores que originam a ZCAS?
- 7.** Como você explica o longo tempo de vida dos sistemas convectivos? Como a convecção pode ficar estacionária?
- 8.** Esquematize o nível de liberação de calor latente com a localização da subsidência.
- 9.** Qual o efeito remoto do cavado a leste dos Andes para a ZCAS?
- 10.** Qual a relação da ZCPS com a ZCAS?
- 11.** O que é e para que serve a oscilação Maden-Julian?
- 12.** De que forma os Andes contribui para o escoamento em baixos níveis? E em altos níveis?
- 13.** De que maneira a anomalia de TSM no Atlântico pode favorecer a ZCAS?

14. Qual a importância da ZCAS para a variação interanual na região Sul/Sudeste do Brasil?

Referências

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Extreme Precipitation Events in Southeastern South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone. *Journal of Climate*, v. 15, p. 2377-2394, 2002a.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: persistence, intensity, form, extreme precipitation and relationships with intraseasonal activity. *J. Climate*, 17, p. 88-108, 2004.

SILVA DIAS, P.L. 1995: A Zona de Convergência do Atlântico Sul. IV Curso de Interpretação de Imagens e Análise Meteorológica, UNIVAP.

SILVA DIAS, P.L., P. ETCHICHURY, J. SCOLAR, A.J. PEREIRA FILHO, P. SATYAMURTI, M.A.F. SILVA DIAS, I. GRAMMELSBACHER e E.

GRAMMELSBACHER, 1991: As chuvas de março de 1991 na região de São Paulo. *Climanálise*, 6(5), 44-59.

KODAMA, Y., 1982: Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: Characteristics of Subtropical Frontal Zones. *J. Meteor. Soc. Japan*, 70, 813-835.

KODAMA, Y., 1982: Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part II: Conditions for generating the STCZs. *J. Meteor. Soc. Japan*, 71, 581-610.

LIEBMANN, B.; KILADIS, G. N.; MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; GLICK, J. D. Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic convergence zone. *J. Climate*, 12, p. 1977–1991, 1999.

SATYAMURTI, P.; NOBRE, C.; SILVA DIAS, P. L. South America. *Meteorology of the Southern Hemisphere*, D. J. Karoly and D. G. Vincent, Eds., Amer. Meteor. Soc., p. 119–139, 1998.

Sites:

http://www.dca.iag.usp.br/www/material/ritaynoue/aca-0422/2009_aulas%20amanda/ (acessado em 15/08/10)

Teses indicadas:

Marton, E.: Doutorado (2000); Calderon, D.: Mestrado (2000).