

Contribution of Amazon's Evapotranspiration To The Moisture Flux Over South America

Henrique M J Barbosa – IF/USP

hbarbosa@if.usp.br

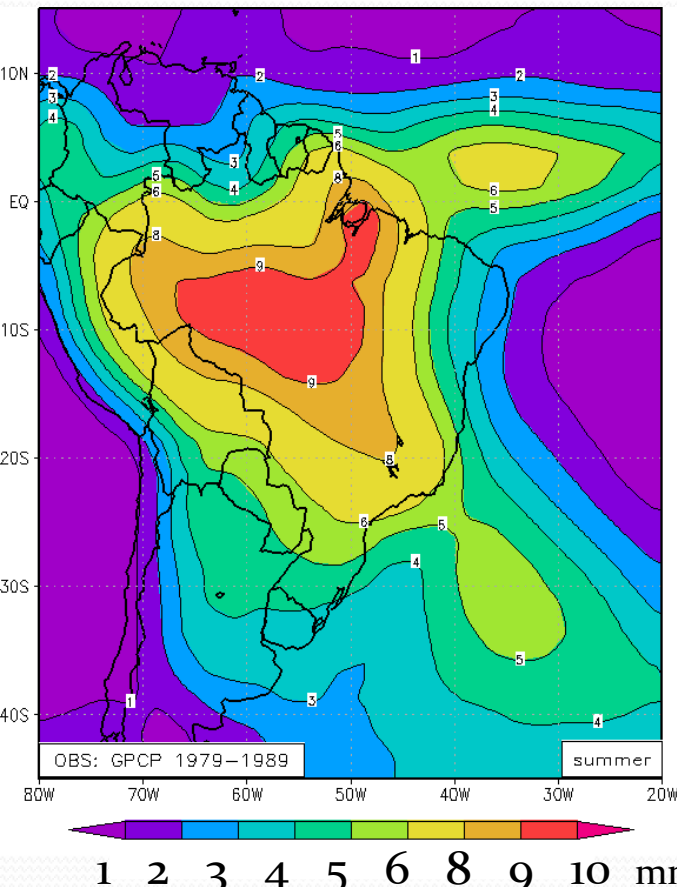
Accessing Climate Change Impacts On Moisture Flux Over South America During the Rainy Season – H. Barbosa & J. Arraut, AGU 2010

UFPA, CHUVA Fapesp – Junho 2011

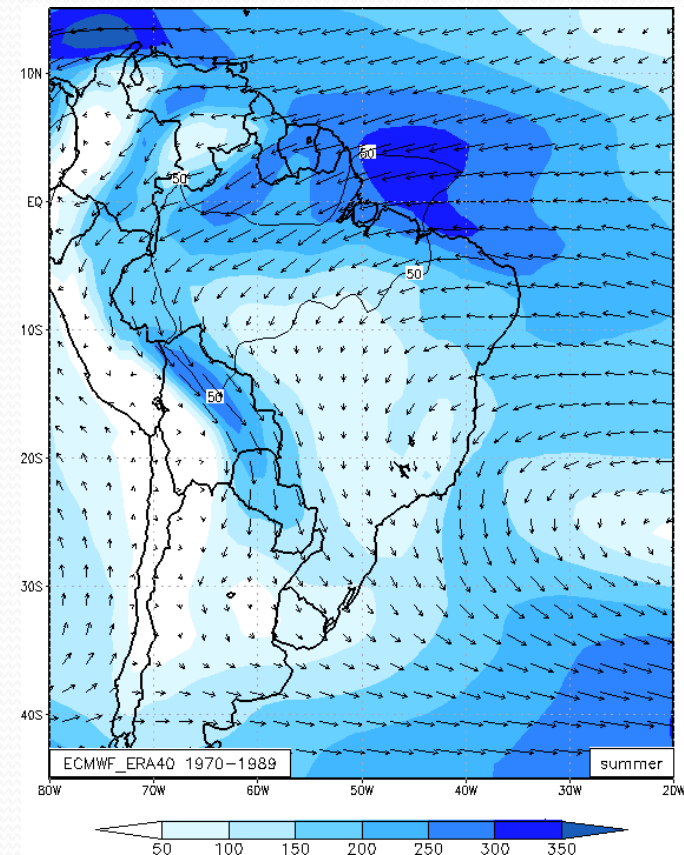


Motivação

- Tem havido um interessante debate científico sobre a importância da Amazônia para a precipitação das regiões mais ao sul, como o sul do Brasil e nordeste da Argentina.



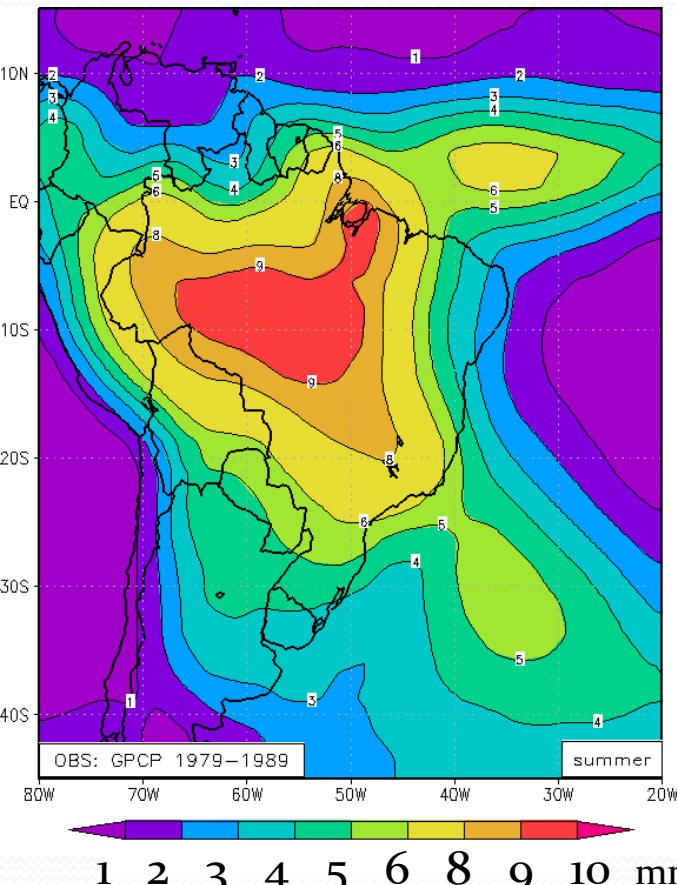
Fluxo de Umidade
ECMWF ERA40, Dez-
Fev Média 1970-90.



Precipitação
Observada GPCP, Dez-
Fev
Média 1970-90

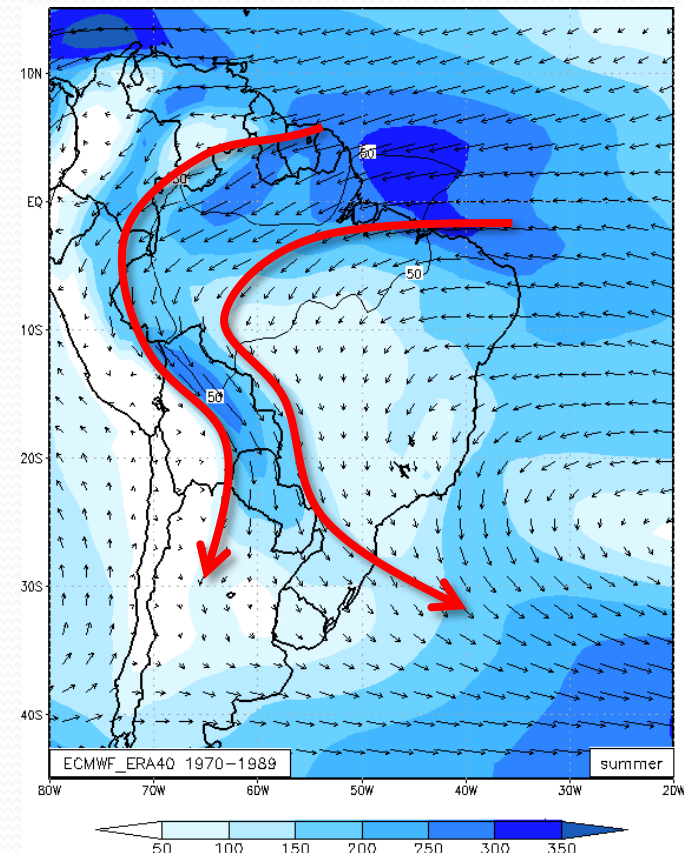
Motivação

- A monção da América do Sul tem um papel importante pois **influencia o balanço de umidade** nos trópicos e subtropicais ao **modular o fluxo de umidade** que se origina sobre o Oceano Atlântico, entra na América do Sul pela Amazônia, e é **desviado pelos Andes para o sul**



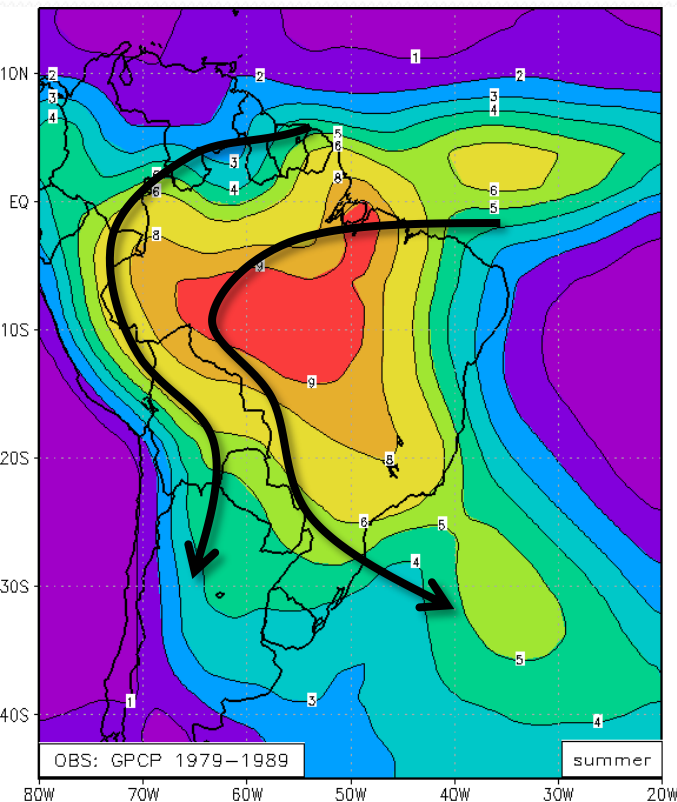
Precipitação
Observada GPCP, Dez-
Fev
Média 1970-90

Fluxo de Umidade
ECMWF ERA40, Dez-
Fev Média 1970-90.



Motivação

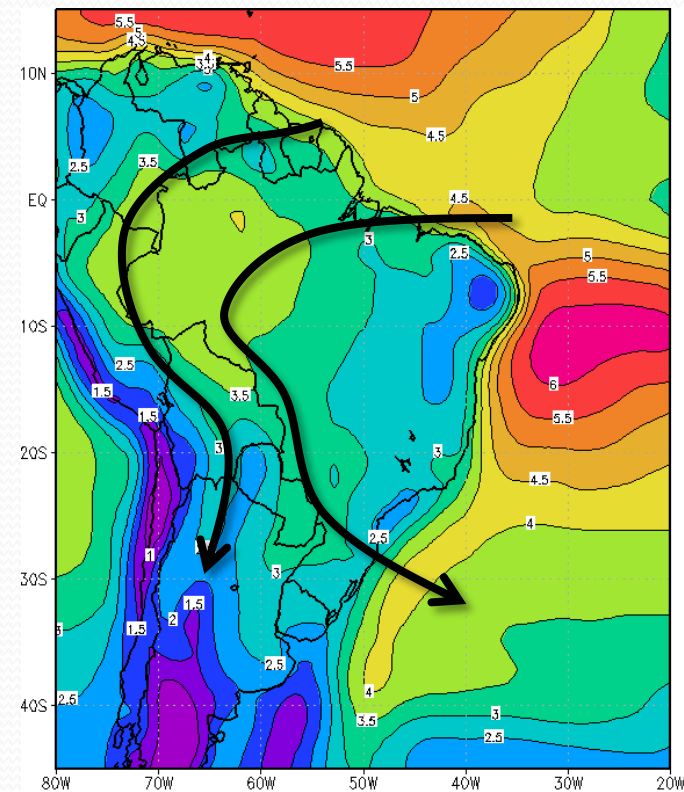
- Enquanto a **umidade** é transportada sobre a Amazônia, ela também é **reciclada**. A **evapotranspiração da floresta** tem um papel importante em manter úmidos os **aerial rivers** que eventualmente vão contribuir para as chuvas nos subtrópicos



Evapo-transpiração
ECMWF ERA40, Dez-
Fev Média 1970-90.

Precipitação Observada
GPCP, Dez-Fev
Média 1970-90

1 2 3 4 5 6 8 9 10 mm/day

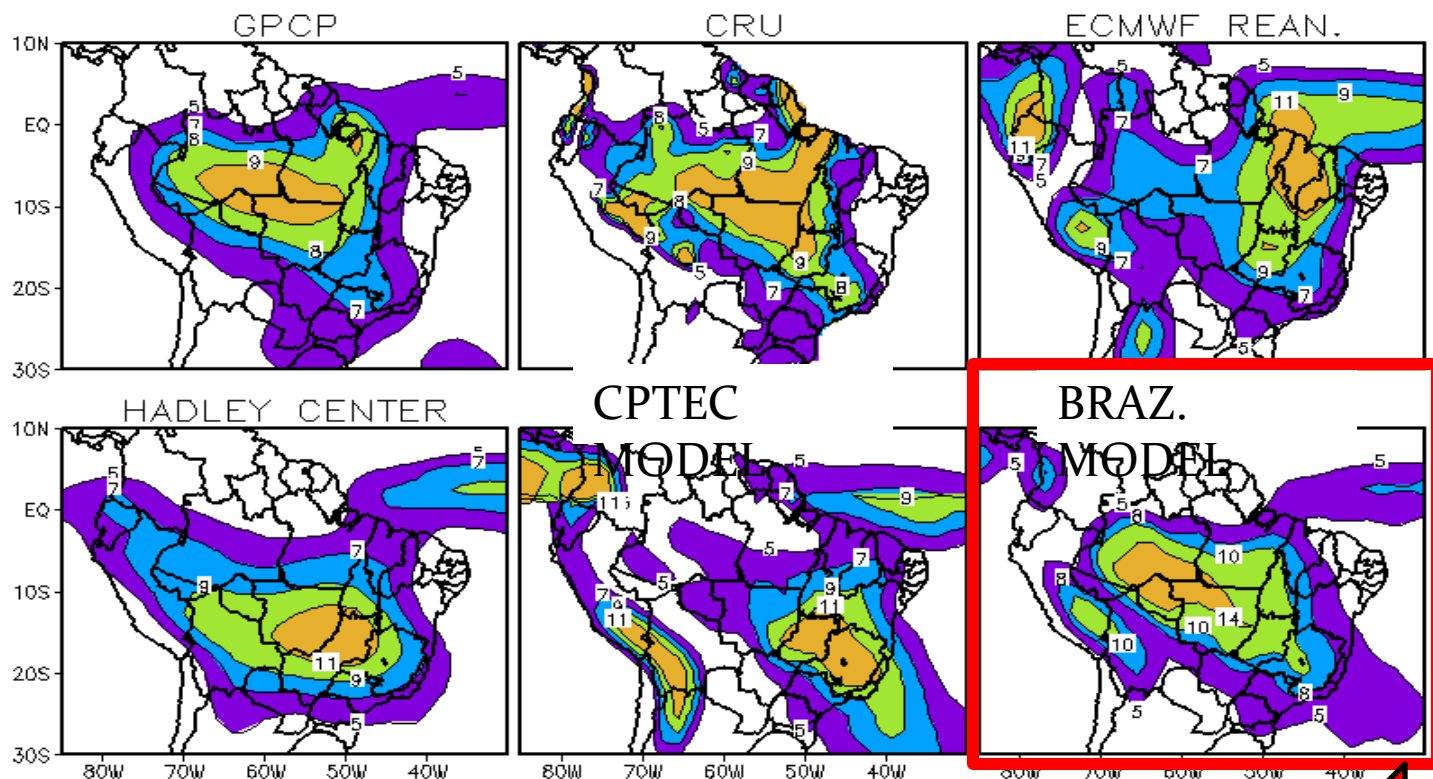


Questões Científicas

Qual a contribuição da E.T. da Amazônia para o fluxo de umidade?

E para as chuvas nos subtrópicos?

Como isso poderia mudar com mudanças no uso do solo?



Precipitação de verão (DJF):
modelada e observada para o século 20

Figuerola et. al, 2006 – 8th Int. Conf. Southern Hem. Meteo. Oc.

Figuerola et. al, 2010 – AGU, 2010, A34B-07



Projeto e Publicações

Projeto CNPq:

Fluxos de Umidade na América do Sul a Leste dos Andes e o Papel da Floresta Amazônica. C. Nobre, J. Marengo, J. Arraut, H. Barbosa, C. Chan, G. Obregon, G. Sampaio, W. Soares

- Arraut et al: **J. Climate (accepted)**, Southward Moisture Flow from Amazonia, Seasonal Aerial Rivers and Subtropical Rainfall in South America
- Arraut e Nobre: AGU 2010, A33C-12, *Southward Moisture Transport from Amazonia and Rainfall in SE South America*
- Barbosa e Nobre: AGU 2010, A33C-14, *Contribution of Amazon's evapotranspiration to the moisture flux over South America*
- Barbosa e Arraut: AGU 2010, GC12A-02, *Assessing Climate Change Impacts On Moisture Flux Over South America During the Rainy Season*
- Arraut e Nobre: LBA 2008, Manaus, *Ciclo anual de transporte de umidade sobre a Amazônia e de chuvas nos subtrópicos da América do Sul*
- Barbosa e Nobre: LBA 2008, Manaus, *Modelando a contribuição da evapotranspiração da floresta Amazônica para o fluxo de umidade que deixa a região em direção ao sul durante a estação seca: a importância da camada limite e da convecção profunda*

Muita gente pesquisando o assunto...

- Muitos trabalhos sobre o JBN e alguns relacionam o jato ao transporte de umidade
- Trabalhos com a monção da América do Sul
- Trabalhos com frontogênese e transporte de umidade
- Trabalhos sobre variabilidade climática da monção e do transporte de umidade
- Projeto dos rios voadores
- Projeto “La Plata” Basin”

Idéia do trabalho...

- Temos um modelo global capaz de reproduzir a monção da América do Sul
- Vamos usar a nova dinâmica Semi-lagrangiana para “marcar” e acompanhar o vapor de água vindo da evapotranspiração
- Determinamos a contribuição da ET da Amazônia **comparando** a precipitação e o fluxo de umidade **totais**, com aqueles vindos **apenas da evapotranspiração**.
- Duas fases:
 1. Inicialmente tratar ET como um traçador passivo, ou seja **sem incluir a mudança de fase** nos processos úmidos.
 2. Posteriormente **incluir as mudanças de fase** e o transporte turbulento na camada limite planetária (CLP).

Fase 2 – Transporte na PBL

O transporte vertical do vapor-ET devido a turbulência seca foi incluído no modelo. Para isso resolvemos a equação de difusão implicitamente:

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial q}{\partial z} \right)$$

Onde o coeficiente de difusão K é estimado usando a parametrização de camada limte de Mellor Yamada 2.0.

Mellor, G. L. and T. Yamada, 1982: *Development of a turbulence closure model geophysical fluid problem*. Rev. Geophys. Space Phys., 20, 851-875.

Fase 2 – Transporte na PBL

O sistema de equações pode ser arranjado de forma tri-diagonal ao mesmo tempo que acoplamos o fluxo na superfície ao perfil vertical de dq/dt :

$$\begin{pmatrix}
 a_1 & c_1 & 0 & & & & \dots & 0 \\
 b_2 & a_2 & c_2 & 0 & & & & \vdots \\
 0 & \dots & \dots & \dots & & & & \\
 & & b_{k-1} & a_{k-1} & c_{k-1} & & & \\
 & & \dots & b_k & a_k & c_k & \dots & \\
 & & & b_{k+1} & a_{k+1} & c_{k+1} & & \\
 & & & & \dots & \dots & \dots & \\
 \vdots & & & & & & & \\
 0 & \dots & & & 0 & b_{m-1} & a_{m-1} & c_{m-1} \\
 & & & & & 0 & b_m & -a_m
 \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix}
 q_1^{n+1} \\
 q_2^{n+1} \\
 \vdots \\
 q_k^{n+1} \\
 \vdots \\
 q_{m-1}^{n+1} \\
 q_m^{n+1}
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 q_1^{n-1} - \frac{2\Delta t}{\Delta_1} F_s \\
 q_2^{n-1} \\
 \vdots \\
 q_k^{n-1} \\
 \vdots \\
 q_{m-1}^{n-1} \\
 q_m^{n-1}
 \end{pmatrix}$$

Cuja solução nos dá q^{t+1} em função de q^{t-1} e do fluxo de superfície.

Fase 2 – Transporte Convectivo

Consideramos que em um regime de quasi-equilíbrio os perfis verticais de vapor de **água total** e de **vapor-ET** estarão em equilíbrio. Assim, calculamos o transporte e a remoção do vapor-ET como uma fração em massa da tendência total **dq/dt**.

$$\left. \frac{\partial q_{ev}}{\partial t} \right|_{convec} = \left\{ \left. \frac{\partial q_t}{\partial t} \right|_{deep} + \left. \frac{\partial q_t}{\partial t} \right|_{shallow} + \left. \frac{\partial q_t}{\partial t} \right|_{large} \right\} \frac{q_{ev}}{q_t}$$

O total de vapor-ET que precipita na superfície é calculado por conservação de massa, ou seja, integrando verticalmente a tendência:

$$ET_Prec = \int_{P_s}^0 \frac{dq_{ET}(z)}{dt} \rho(z) dz$$


Modelo Global CPTEC/COLA

- Quando da fundação do CPTEC, em meados da década de 90, foi trazido o modelo global atmosférico do COLA.
 - Era acoplado ao Poseidon e usado para previsão de El Niño
- Dinâmica espectral
 - Truncamento romboidal → triangular
- Físicas em ponto de grade
 - Radiação: Lacis & Hansen (74, SW) e Harshvardhan, (87, LW)
 - Nuvens: Slingo (87) e Hou (90)
 - Convecção: Kuo (65), Arakawa Relaxado (Morthi 92), Tiedtke (83, rasa)
 - PBL: Mellor-Yamada 82
 - Biosfera: Ssib (Xue et al 91)
 - Grav: Alpert (88)
- Desde então este modelo continuou a ser desenvolvido no Brasil e tem sido usado amplamente, tanto em pesquisa quanto operacionalmente, para tempo e clima.

Cavalcanti et al, 2002: *Climatological features in a asimulation using CPTEC-COLA AGCM*, J. Clim., v.15, p.2965

Versão Brasileira

- Em meados dos anos 2000 já eram tantas modificações passou-se a chamar MCGA-CPTEC
- O código foi todo otimizado e paralelizado
 - NEC e x86
- Dinâmica foi reescrita do zero:
 - Grade reduzida
 - **Semi-lagrangeano**
 - Transformadas mais eficiente
- Parametrizações
 - Radiação:
 - Ramaswamy & Freidenreich (J. Chagas)
 - Clirad-SW, (T. Tarasova & Barbosa)
 - Convecção:
 - Grell Ensemble (S. Nilo & Barbosa)
 - Souza (Souza, Nilo & Barbosa)

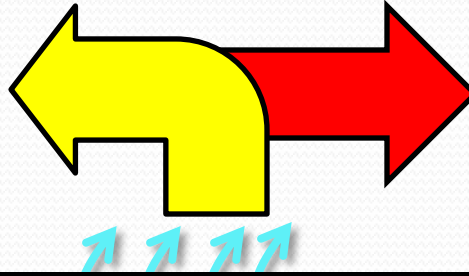


Permite acompanhar traçadores
“passivos” transportados pelo vento

Implementação

O modelo injeta esta umidade no 1º nível da atm normalmente

Fazemos uma cópia em um traçador **diferente** da água total



Chuva total

Como fazemos uma cópia que é acompanhada separadamente, **não modificamos em nada** o resultado numérico da previsão de tempo, simplesmente temos um diagnóstico **a mais**.



Chuva devido a evapotrans.

A parametrização de interação bio-atm (SSib) calcula um fluxo de vapor na superfície

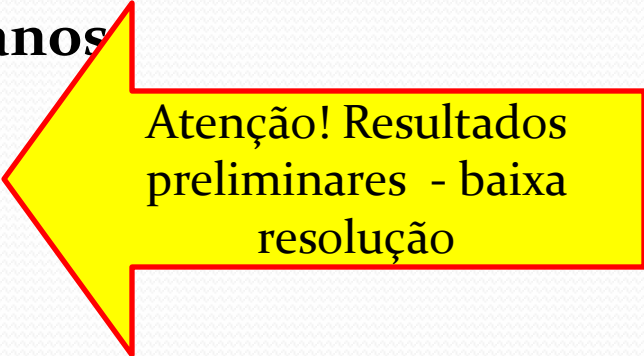


Defino uma área

Determino os pontos de grade com floresta tropical dentro da área

Fase 2 – Simulação

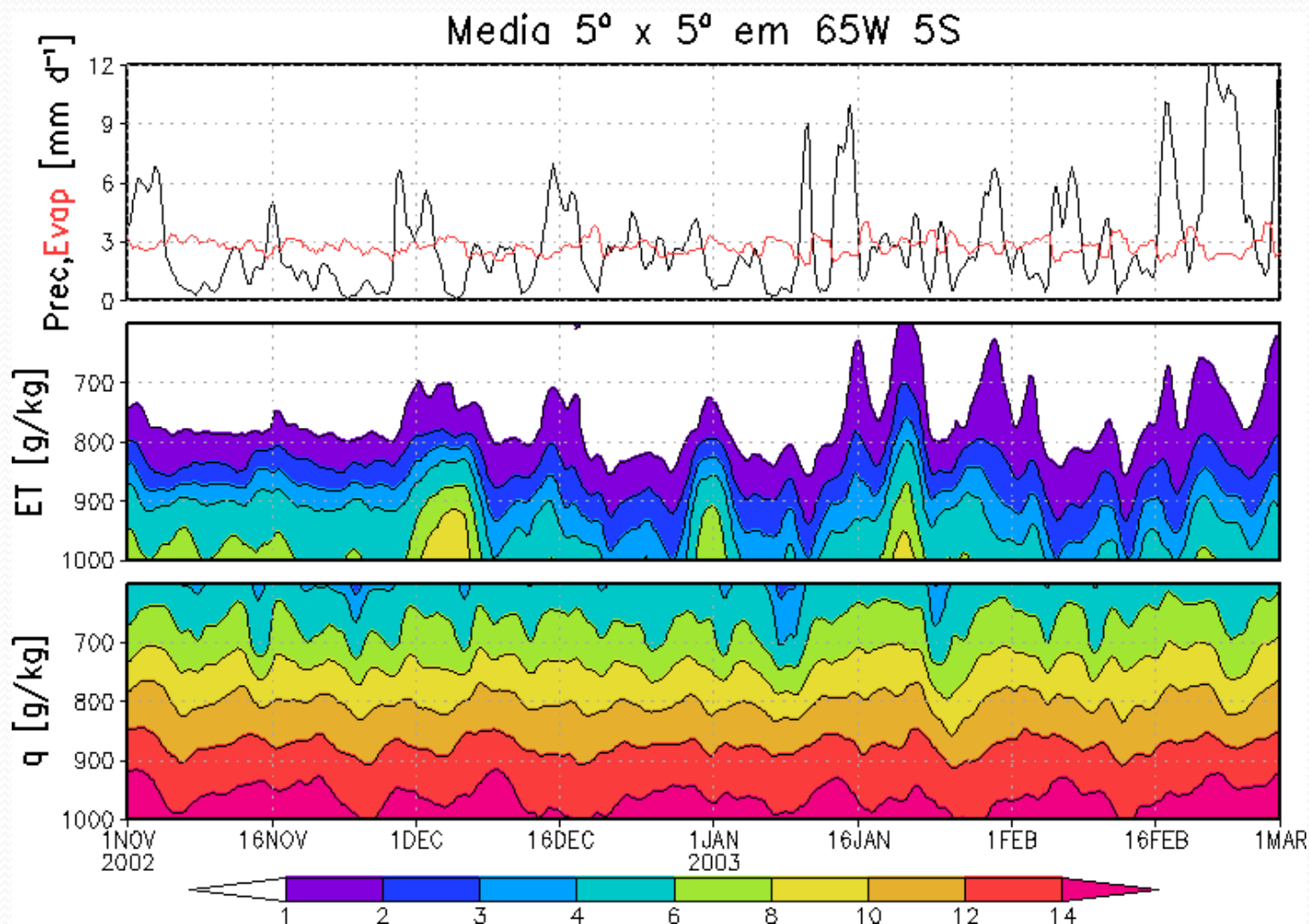
- O modelo CPTEC GCM foi integrado por **5 anos**
 - Início em 1/set/2002, final em 30/ago/2007
- Resolução
 - espacial 250km (T42 L18), temporal 30min.
- Condições de contorno:
 - SST observada NOAA OI.v2
- Parametrizações (Cavalcanti et al, 2002):
 - Kuo (1965) deep convection
 - Tiedke (1973) shallow cumulus
 - PBL from Mellor & Yamada (1982)
 - SSib surface scheme (Xue et al, 1991)
- **Todos os resultados a seguir são médias das 5 estações chuvosas (Nov-Mar) entre 2002 e 2007**



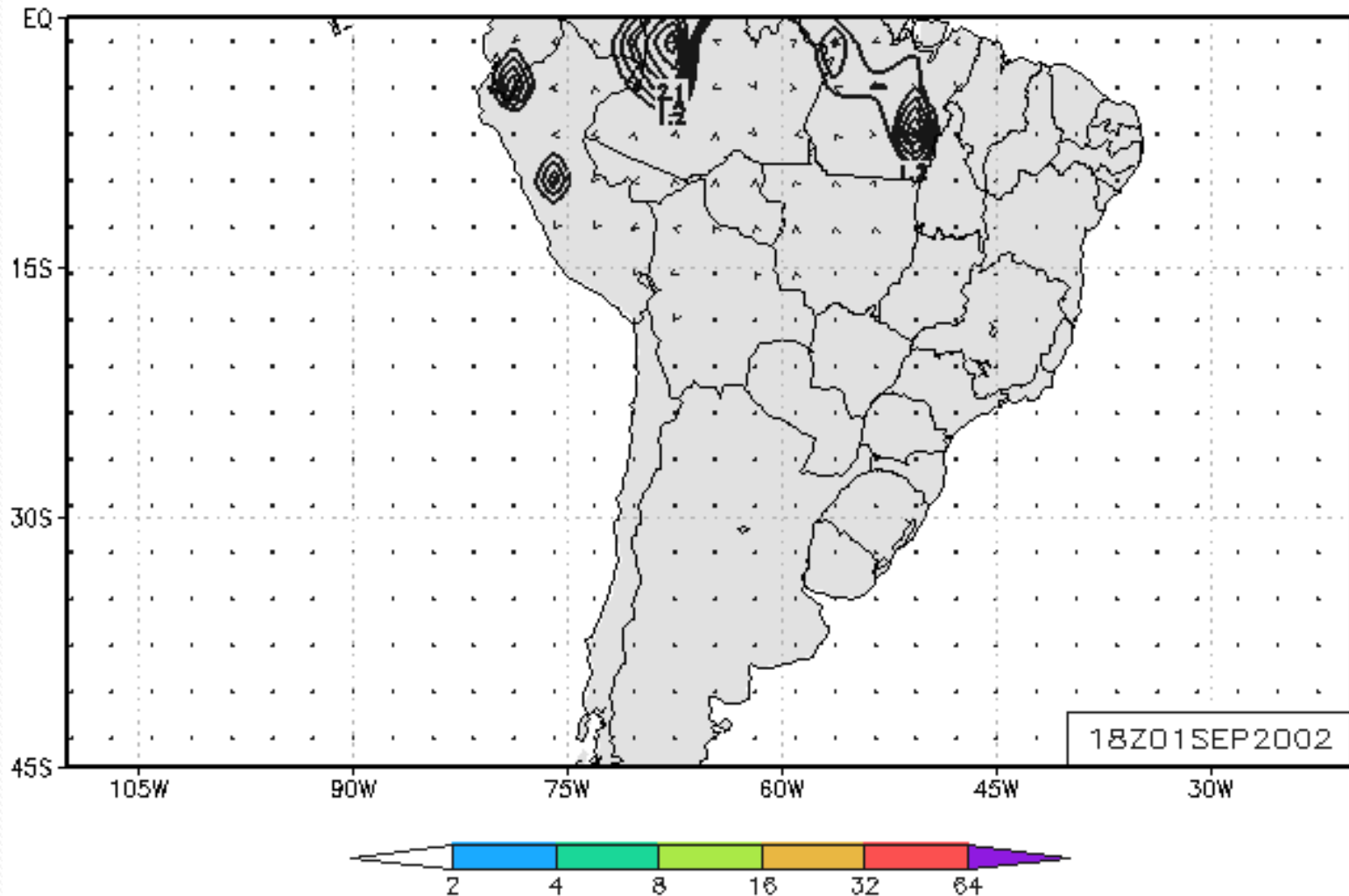
Atenção! Resultados
preliminares - baixa
resolução

Resultados

Precipitação, evapotranspiração e conteúdo de água na atmosfera na Amazônia oeste (65W 5S)

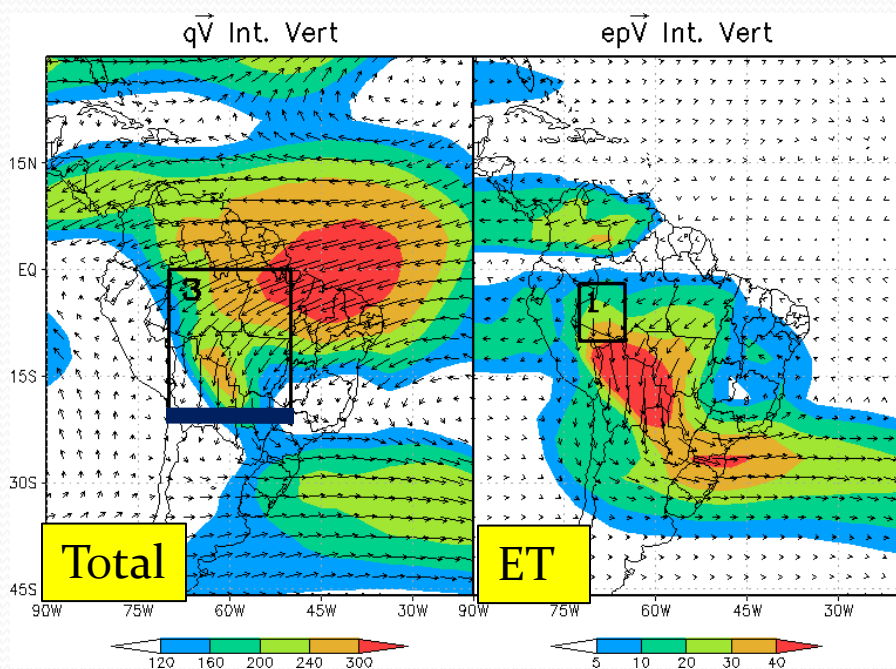


Transporte, água precipitável e precipitação - Evapotranspiração

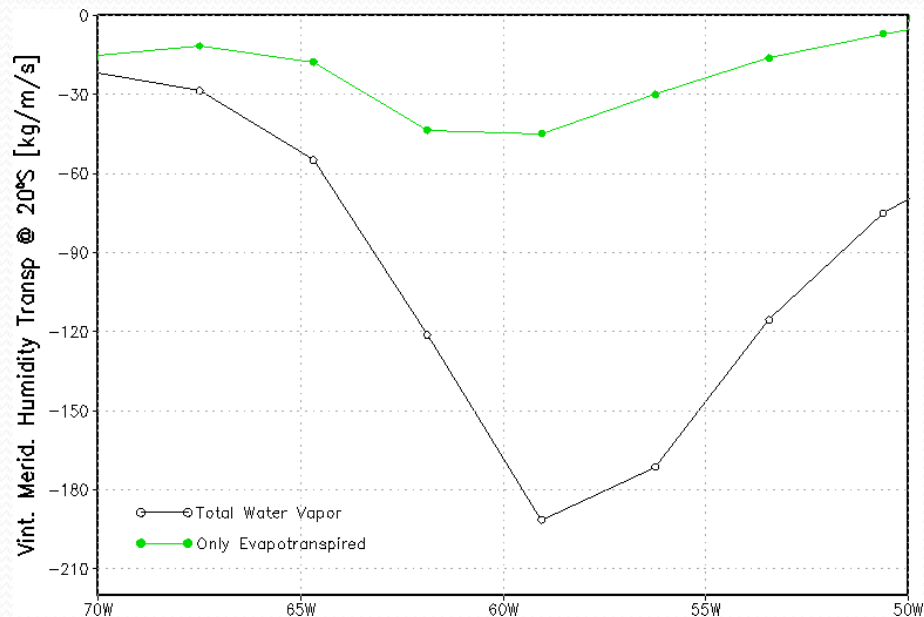


Fluxo de Umidade

- A contribuição do vapor-ET para o fluxo de umidade total é importante! Chega a 30% em 62W. O fluxo de vapor-ET é mais intenso sobre a Bolívia, Paraguay e sul do Brasil.



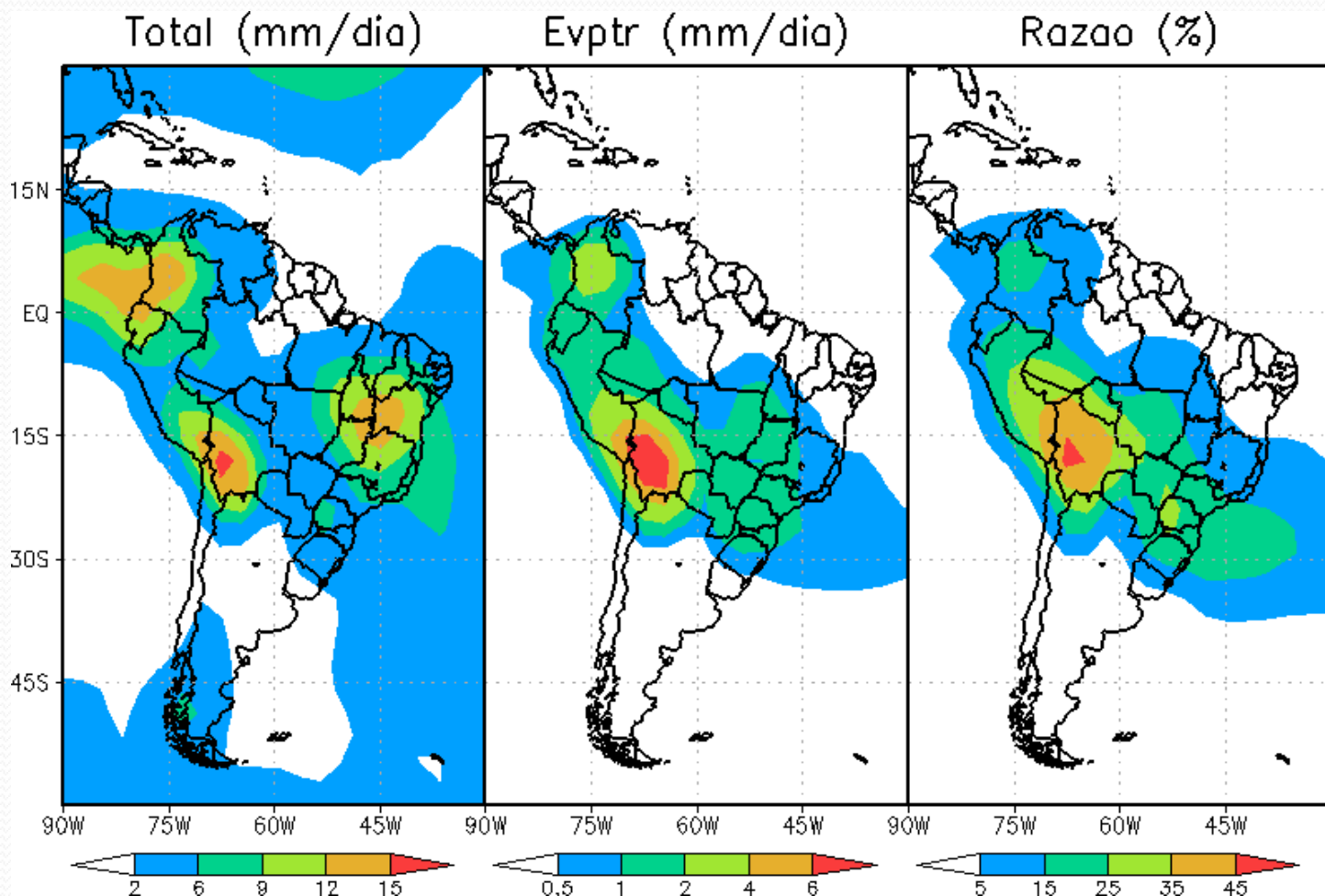
Transporte de umidade integrado na vertical (kg/m/s). Total (esquerda), vapor-ET (direita).



Transporte meridional em 20°S

Contribuição para a precipitação

Nossos resultados preliminares indicam que 40% da precipitação de verão sobre a Bolívia e 30% daquela sobre o sul do Brasil vem diretamente da evapotranspiração da Amazônia.



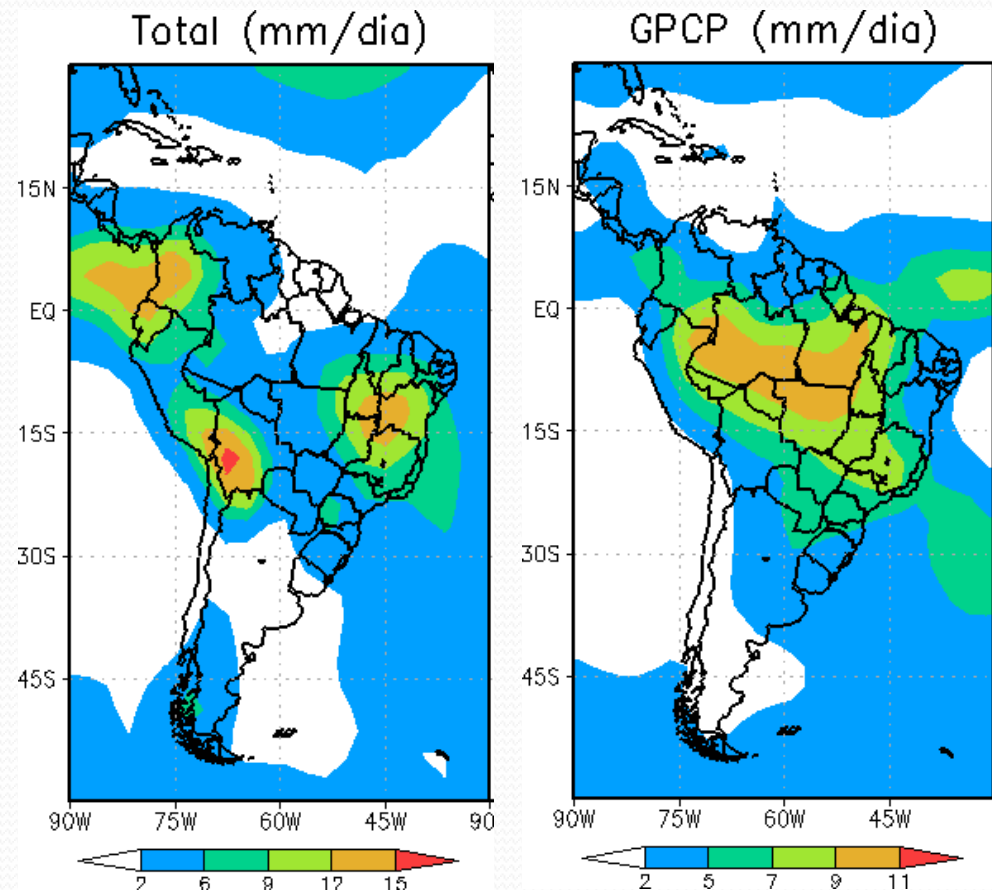
Precipitação de
verão (NDJFM)
média de 02-07.
CPTEC-GCM baixa
resolução T42L18

Contribuição para a precipitação

Estes são resultados **MUITO** preliminares. O esquema de convecção profunda KURO (1965) tem erros sistemáticos sobre a América do Sul bastante conhecidos, que foram exacerbados pela baixa resolução!

1. Comparando com o GPCP vemos que as simulações em baixa resolução falharam em simular a distribuição de precipitação no continente.
2. Os erros são diferentes dos encontrados por Cavalcanti et al (2002), que usou a mesma física mas resolução T62 L28.

Precipitação de verão (NDJFM) média de 02-07. CPTEC-GCM e GPCP



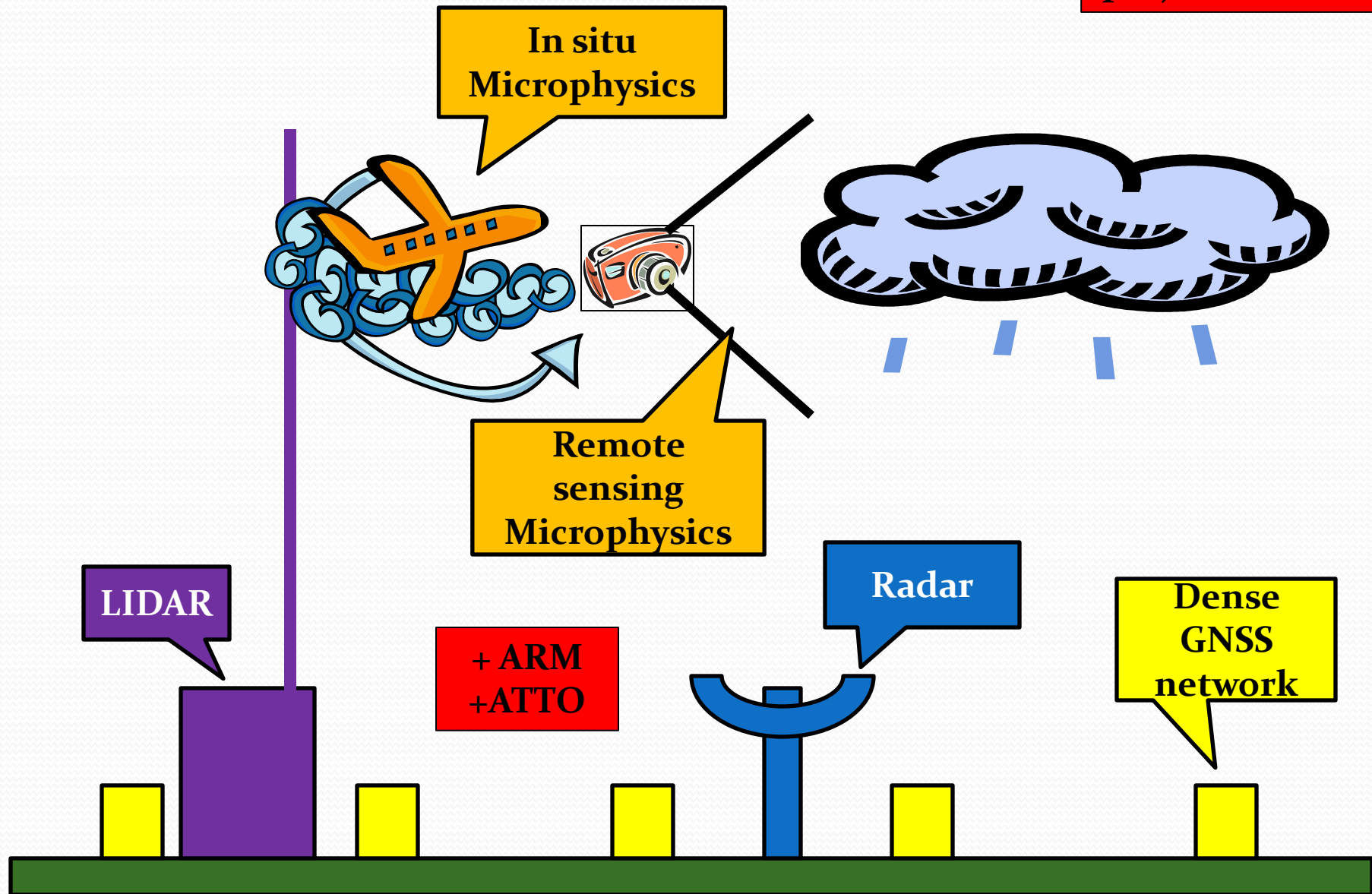
Próximos passos

Assim que eu tiver um tempo livre, pretendo:

- Introduzir o transporte convectivo a partir do fluxo de massa calculado na
- Repetir as simulações em alta resolução (80km e L64)
 - Com o esquema de convecção Grell (Nilo et al, 2010)
 - Com o esquema de convecção rasa Souza
- Estimar
 - Mais precisamente a contribuição do vapor-ET nas chuvas nos subtrópicos
 - A reciclagem de água sobre a Amazônia, i.e., quando da precipitação na Amazônia depende da evapotranspiração

Perspectivas futuras

+ Todo o projeto CHUVA



GNSS



Radar e Disdrômetro



LIDAR



Surface Graph

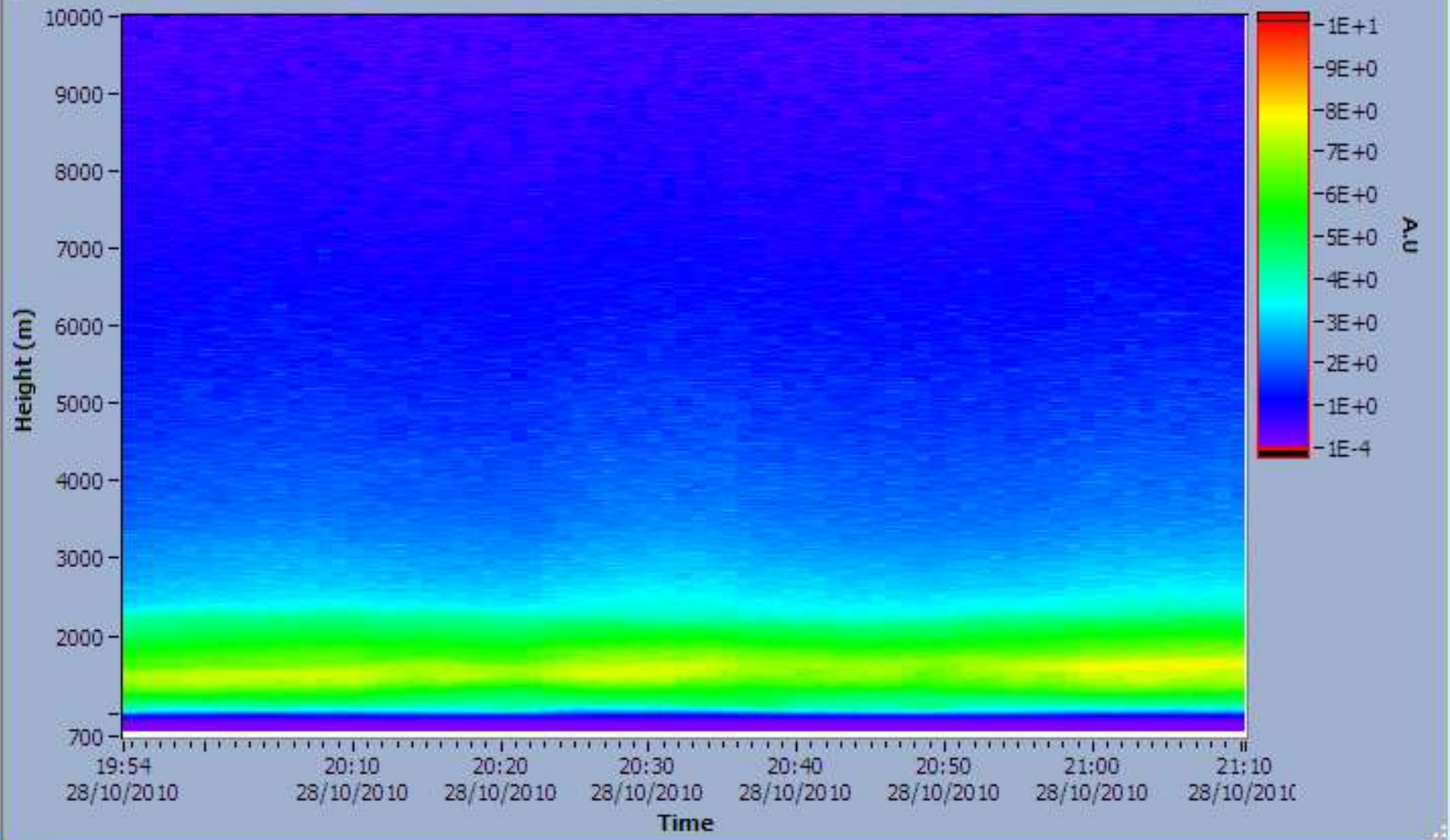


Close

View Cursor

Location: SP, Altitude: 783.7, W 355, Type: 0, Pol Type: .o

Data: Unknown



Accessing Climate Change Impacts On Moisture Flux Over South America During the Rainy Season

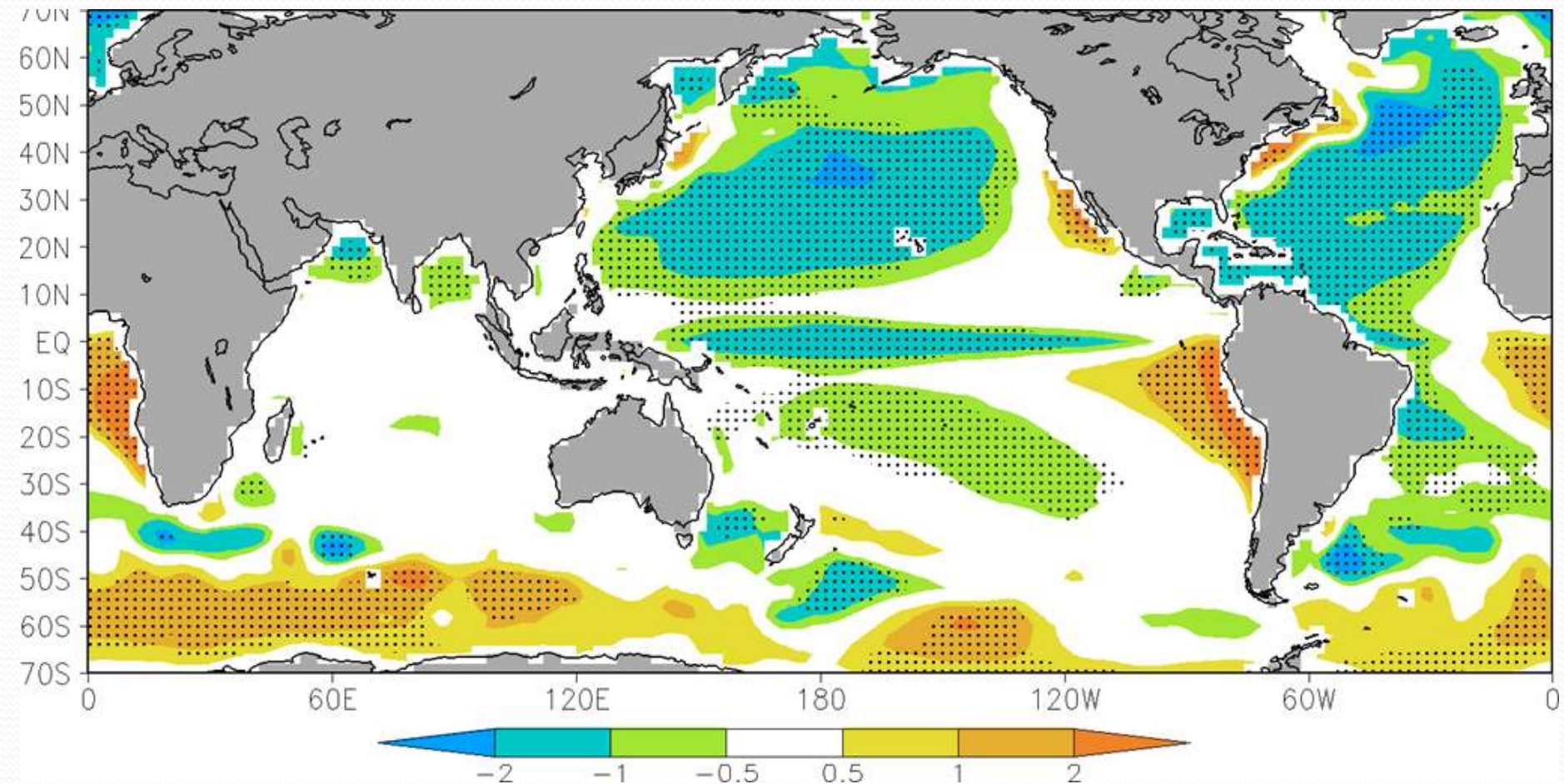
- Henrique M J Barbosa – IF/USP – Brazil
 - Josefina M Arraut – CCST/INPE – Brazil
-
- Session: Global Environmental Change (Room C2)
 - Monday , 10:45-11:00 - GC12A-02



• Idéia do trabalho.

- Temos um modelo global capaz de reproduzir a monção da América do Sul
 - Modelo Brasileiro do Sistema Climático Global (BMGCS)
- Forçamos o **modelo atmosférico** com TSM prescritas de acordo com os cenários do IPCC
 - Observado para o século 20
 - Simulada nos experimentos IPCC-AR4: 20C3M, A2 and B1
 - Hadley Center-HadCM3, GFDL-CM2.1 e MPI-ECHAM5
- Comparamos as simulações A2 – 20C3M e B1 – 20C3M para determinar o impacto das mudanças climáticas na América do Sul

TSM no IPCC AR4 – Viés nas simulações 20C3M



Viés médio (1930-2000) na temperatura da superfície do mar (graus) de 22 modelos do IPCC-AR4.

Análise Preliminar da TSM dos Modelos Acoplados Utilizados no IPCC-AR4 – CBMET 2008 – H. Barbosa e J. Marengo

Simulações de Mudanças Climáticas

- Forçantes:

- Gases - Johns et al Clim. Dyn. (2003)
- TSM – **ECHAM5, HadCM3, GFDL**
 - **20C3M, A2 e B1**

- Simulação inicial:

- Baixa resolução (2.5 graus), 18 níveis
- Período: 1870-2100
- Cenários: 20C3M, A2 e B1

- Simulação detalhada: (somente GFDL)

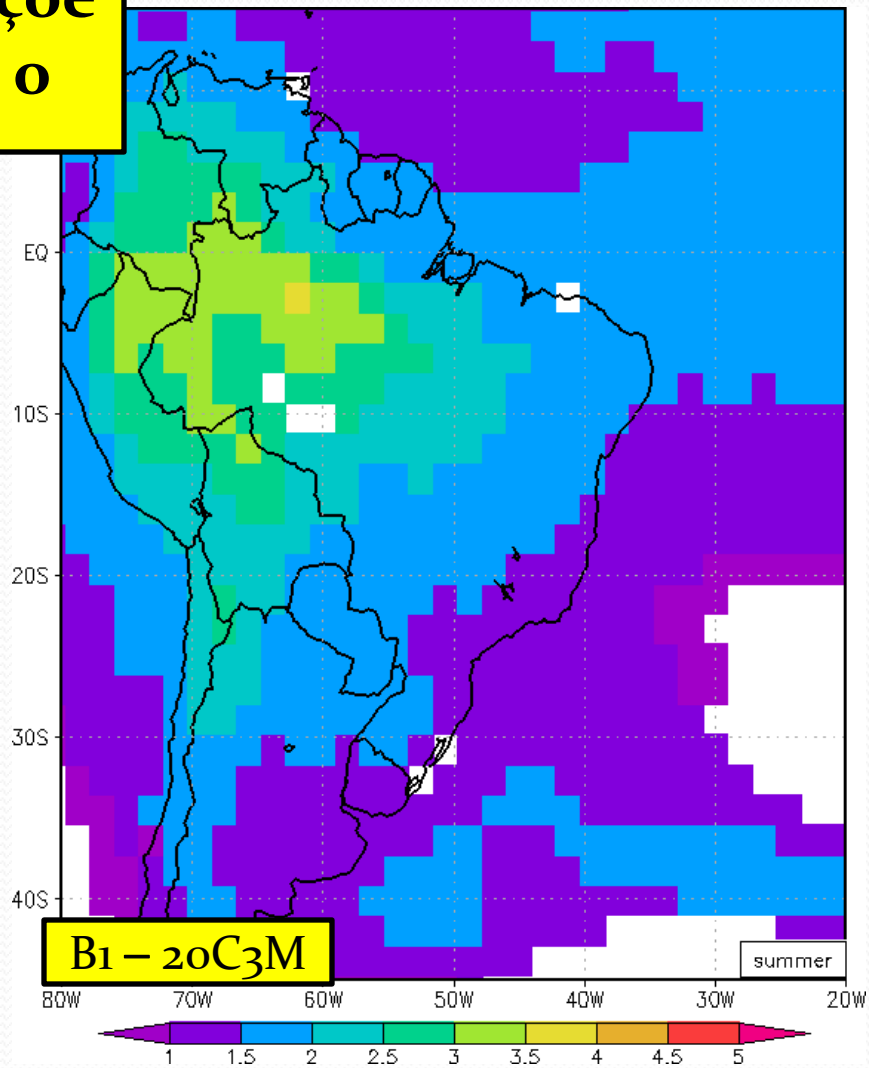
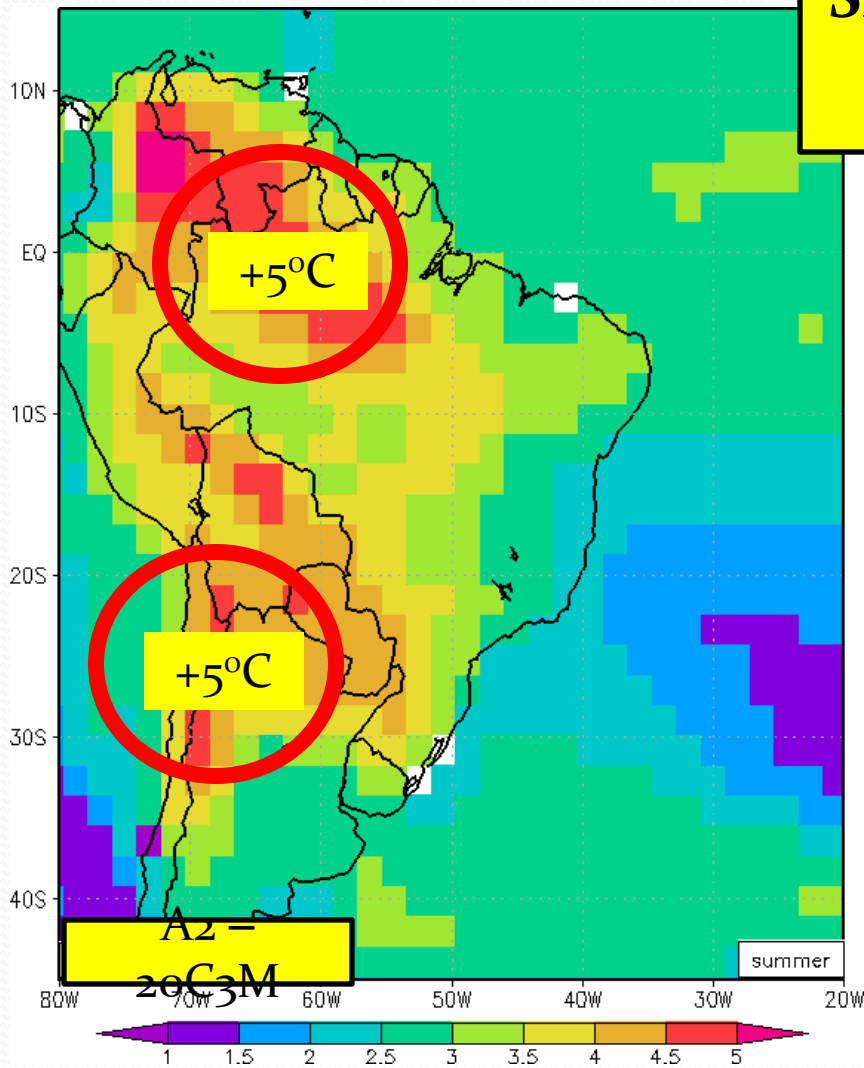
- Resolução mais alta (1.8 graus), 28 níveis
- Período **1960-1990** e **2070-2100**
- Cenários: 20C3M, A2 e B1

Temperatura a 2m (°C) DJF – Mudanças Climáticas

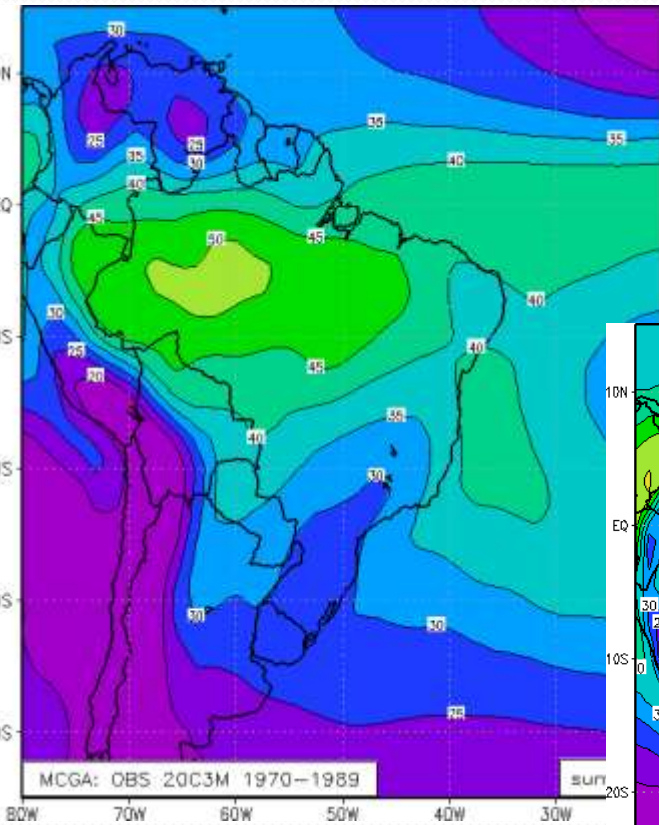
BMGCS, forçado pelo GFDL – Anomalias: 2100-80 – 1990-70

Significancia estatísticas >95%

Simulações com o T62

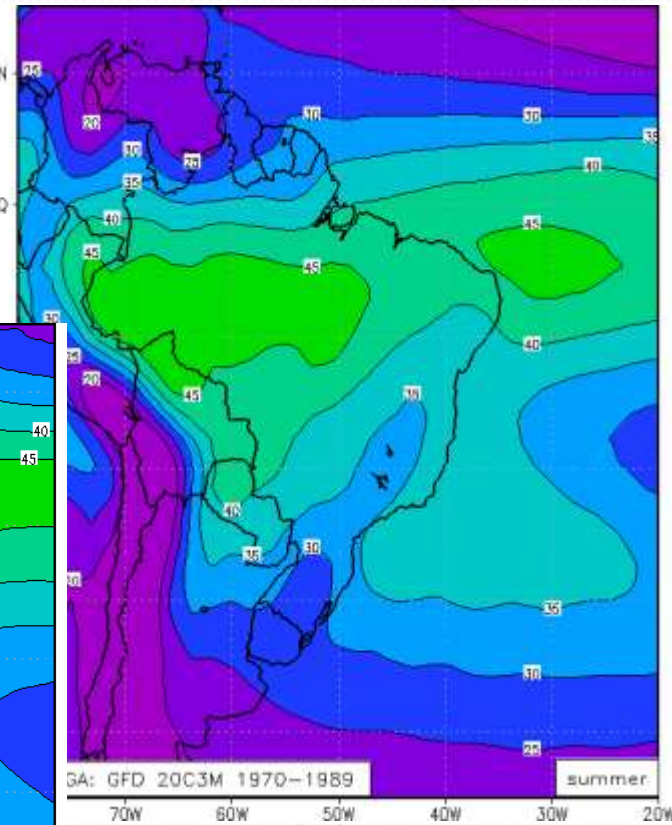
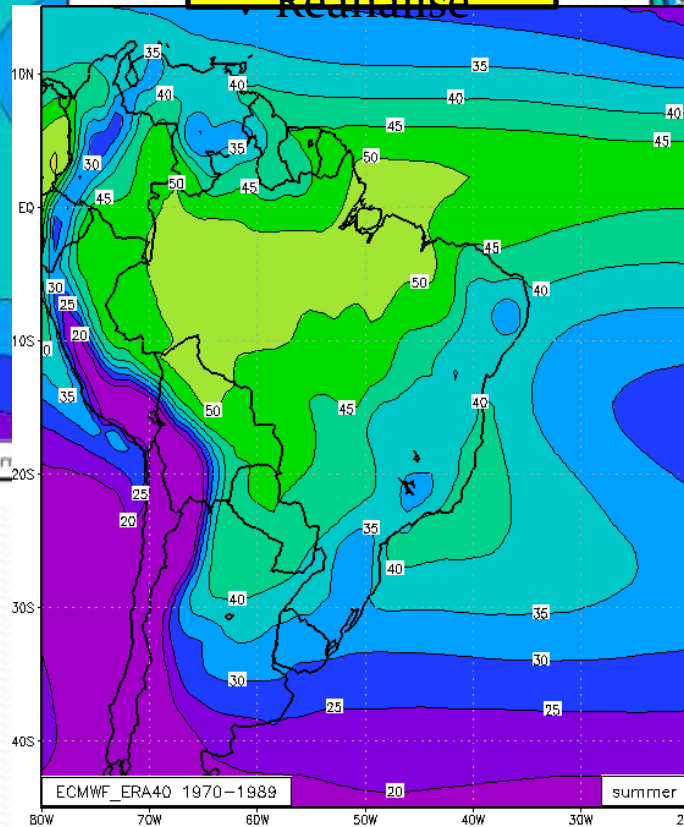


Água precipitável (kg/m²) DJF – 1970-90

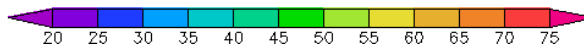


Modelo: BMGCS
Forçante: OBS

ECMWF -
ERA40
Reanálise



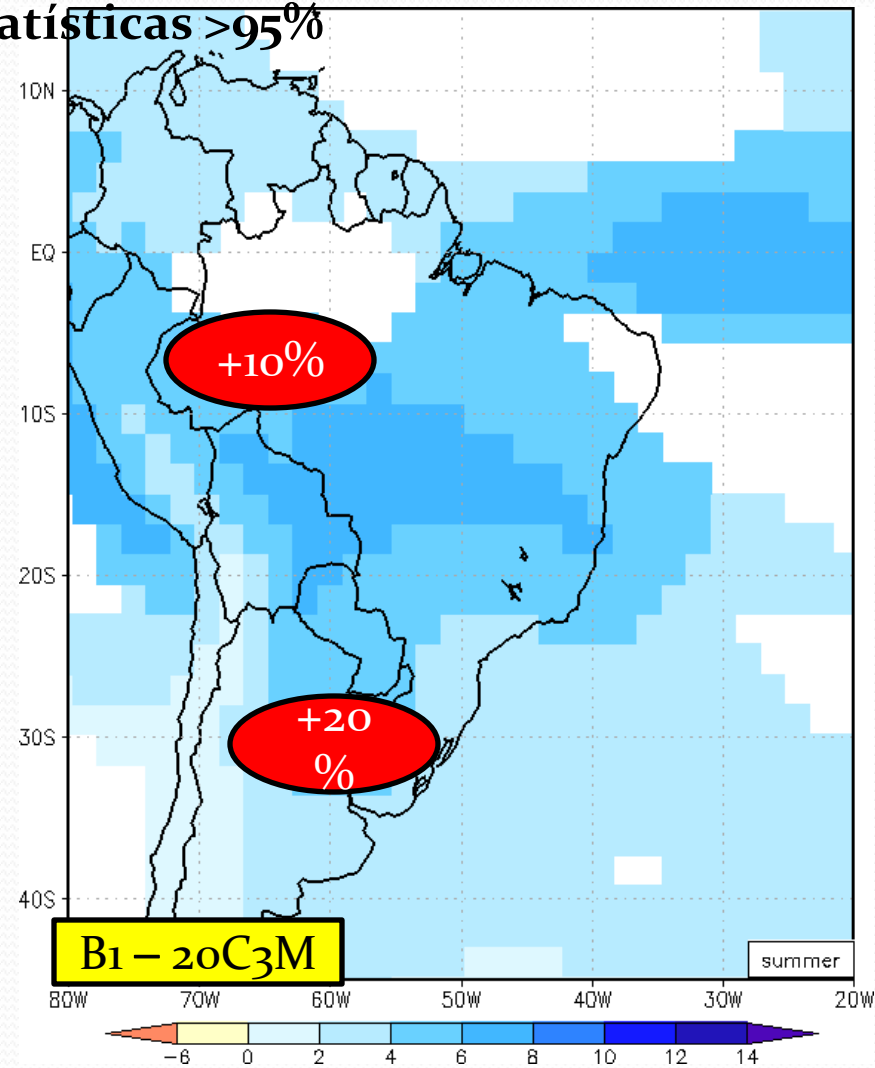
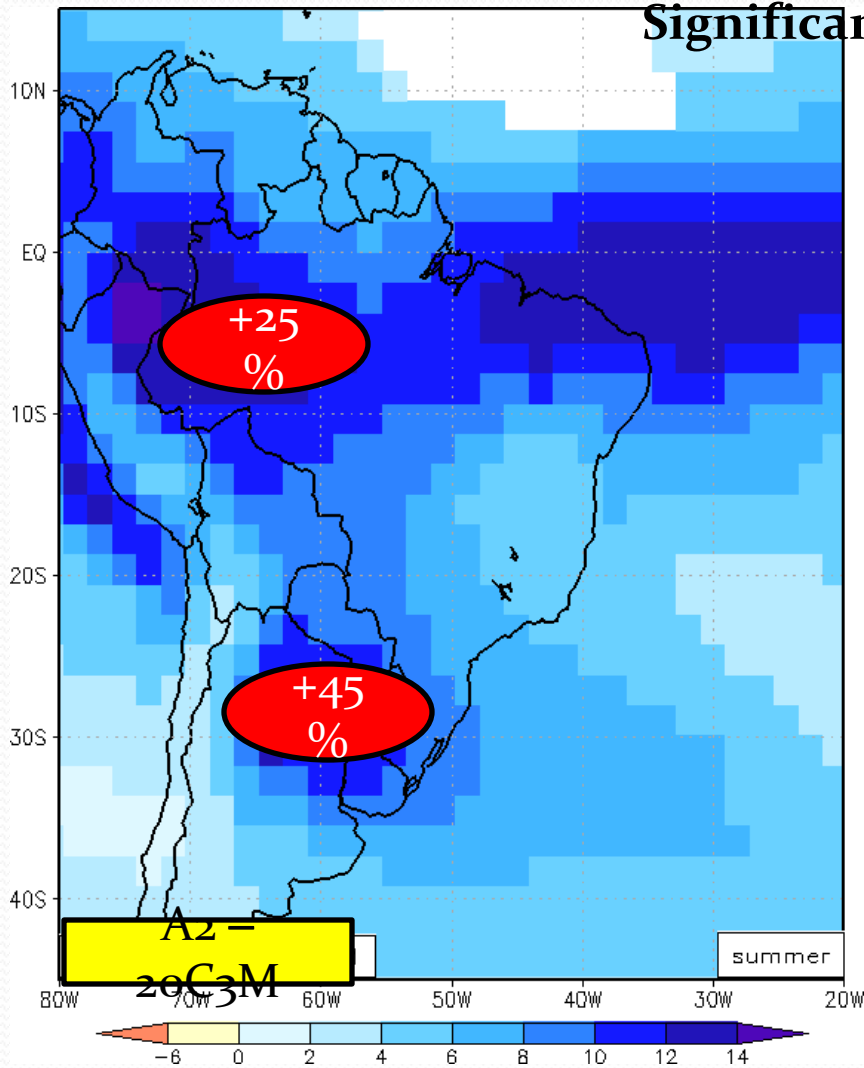
Modelo: BMGCS
Forçante:
GFDL/20C3M



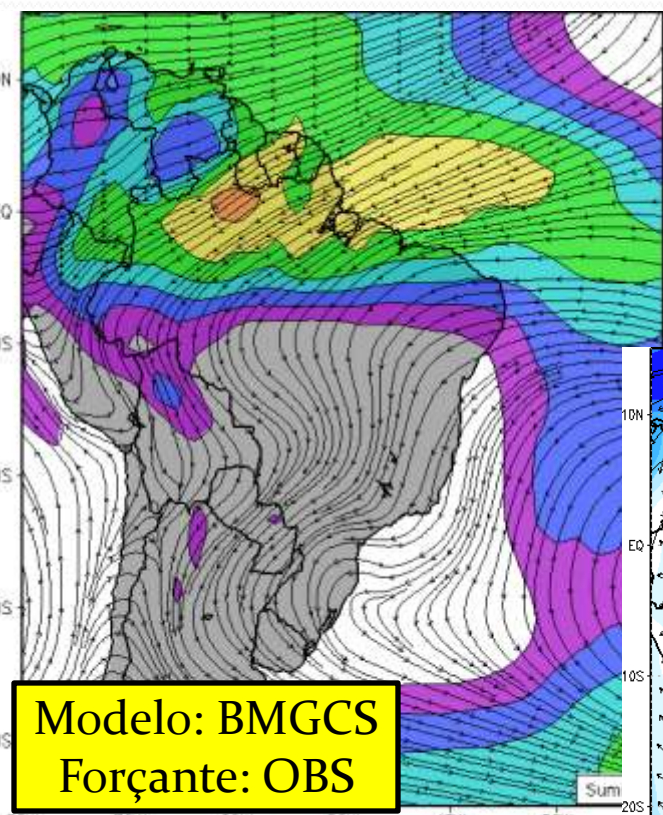
Água precipitável (kg/m²) DJF – Mudanças Climáticas

BMGCS, forçado pelo GFDL – Anomalias: 2100-80 –
1990-70

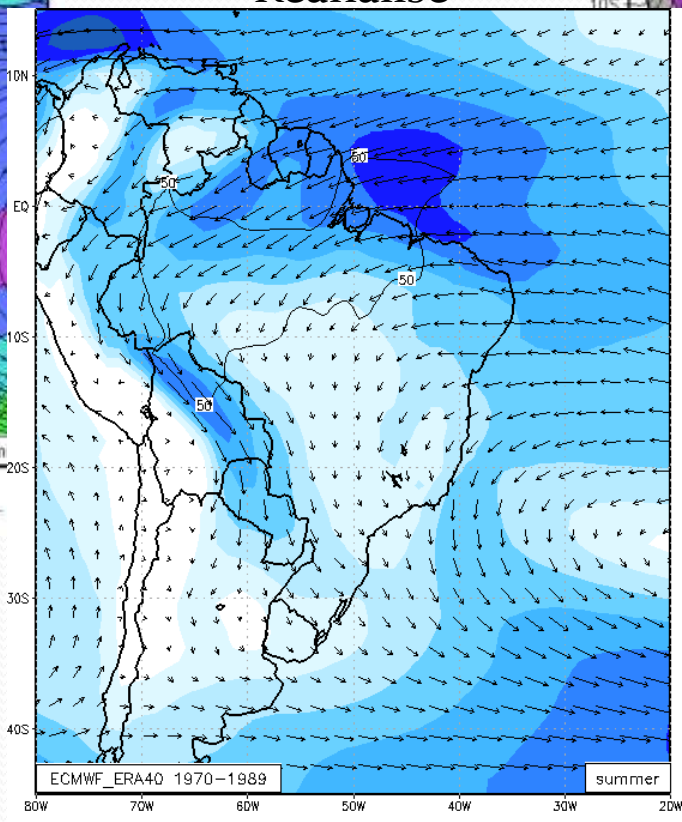
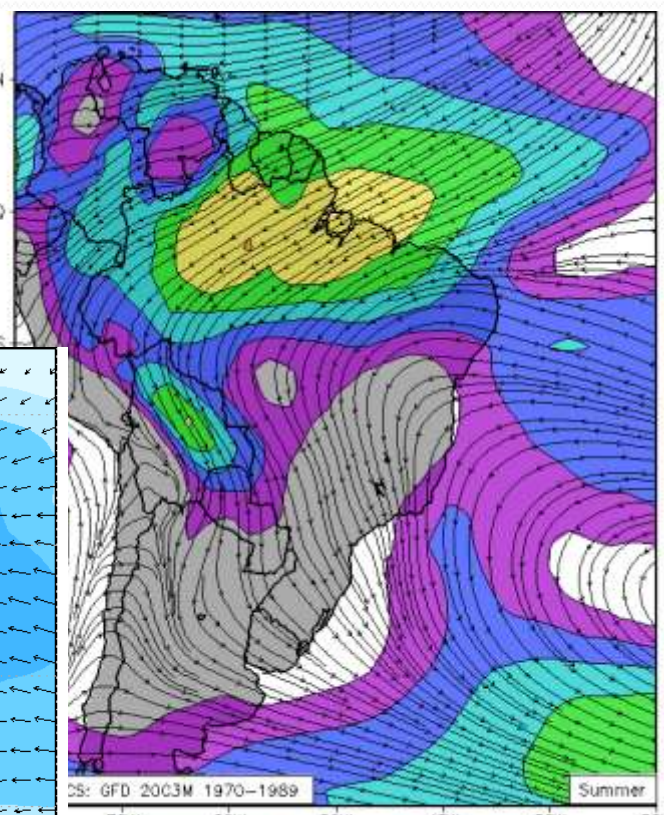
Significância estatísticas >95%



Transporte de umidade integrado na vertical – DJF – 1970-90



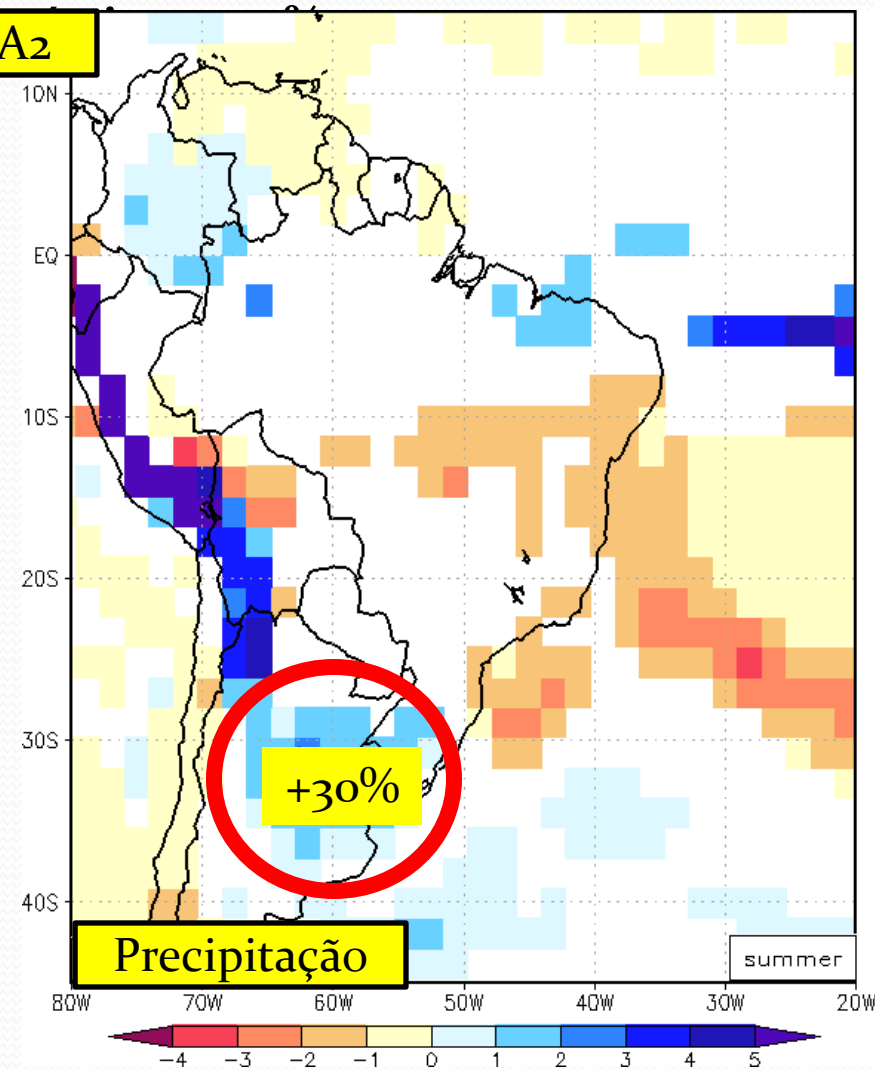
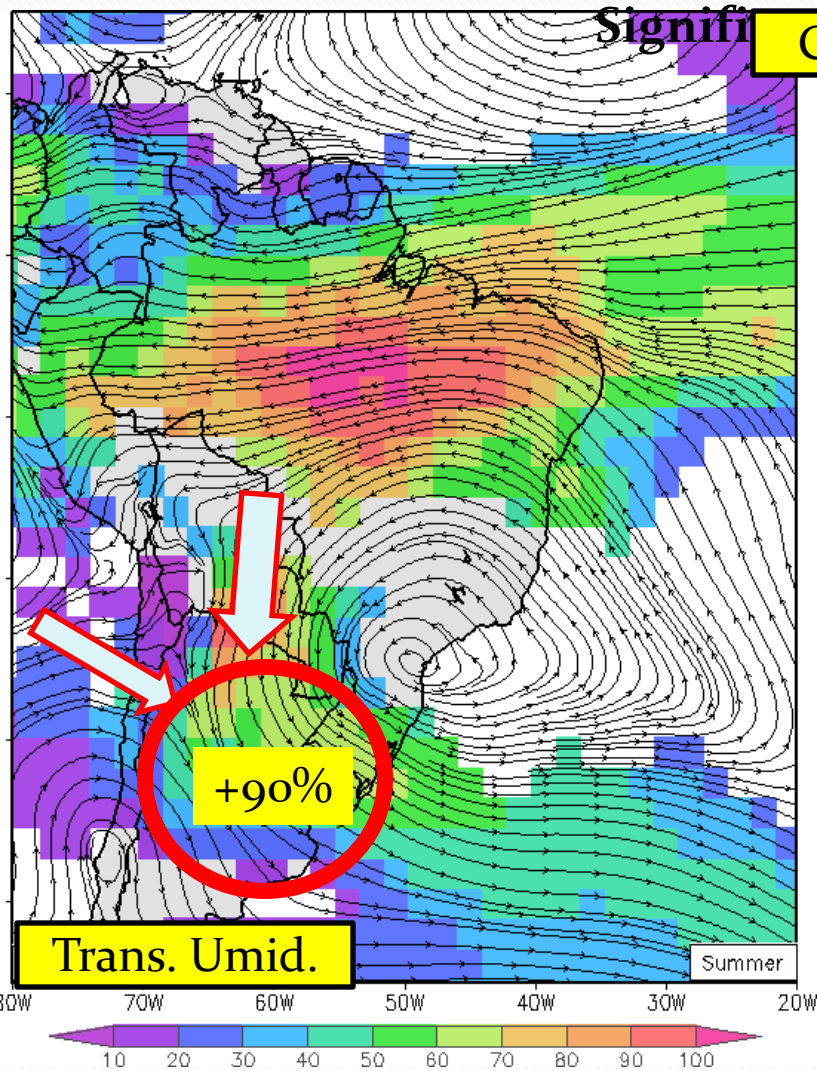
ECMWF - ERA40 Reanálise



Anomalia Transporte de Umidade – DJF (kg/m/s)

Anomalia de Precipitação – DJF (mm/dia)

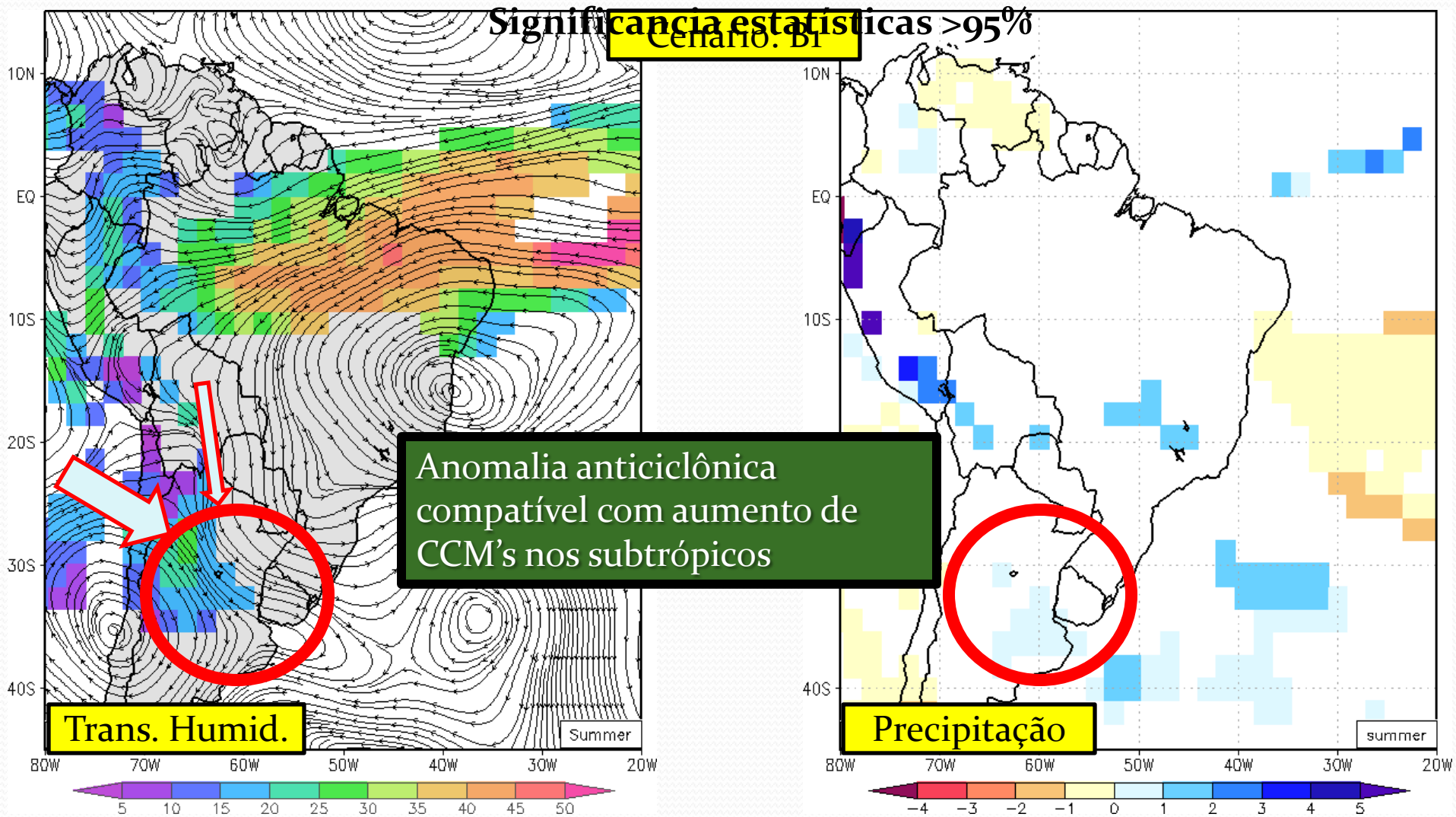
BMGCS, forçado pelo GFDL – Anomalias: 2100-80 –
1990-70



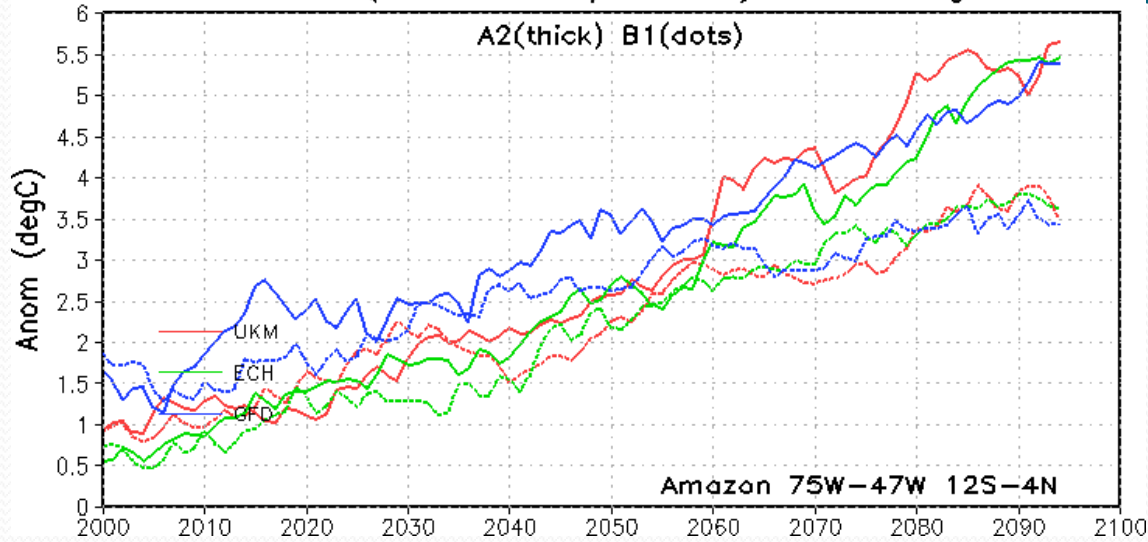
Anomalia Transporte de Umidade – DJF (kg/m/s)

Anomalia de Precipitação – DJF (mm/dia)

BMGCS, forçado pelo GFDL – Anomalias: 2100-80 –
1990-70

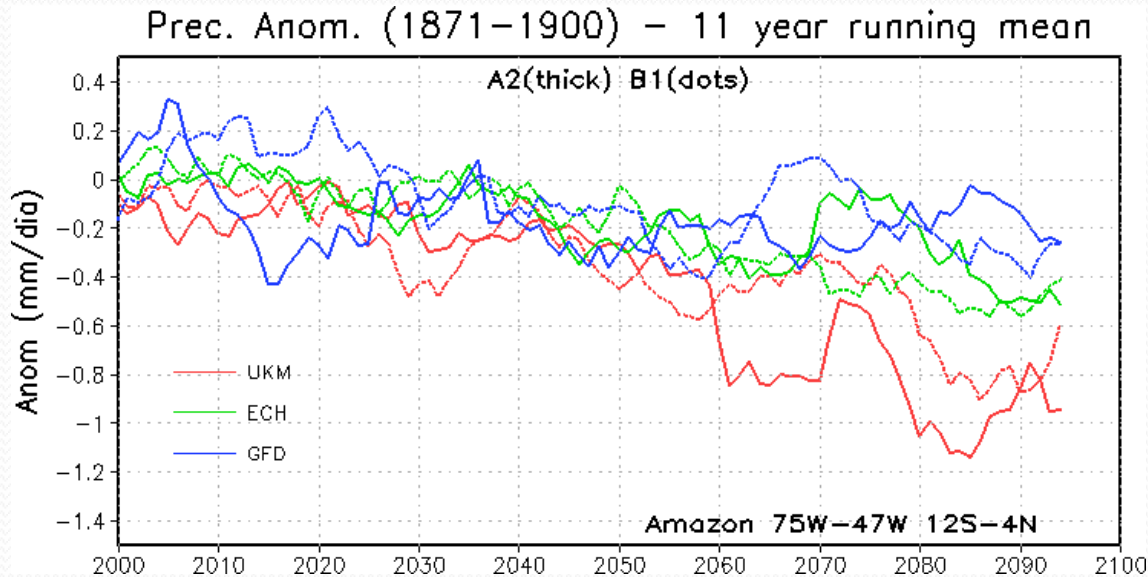


Amazon (75W-47W 12S-4N) 2000 → 2100



Hadley Centre – A2

- -2.9 mm/dia
- +9.2°C



BMGCS/UKM – A2

- -1.0 mm/dia (não é significativo estat.)
- +5.5°C

Conclusões

Comparando 1970-90 (20C3M) com 2080-99 (A2 e B1)

	Amazônia	Subtrópicos da A.S.
Temperatura	+5°C (A2) a +3°C (B1)	+5°C (A2) a +2°C
Prec. Water	+25% (A2) a 10% (B1)	+45% (A2) a +25% (B1)
Moist. Flux	+50% (A2) a +25% (B1)	+90% (A2) a +30% (B1)
Precipitation	Not statistically significant	+30% (A2) a +10% (B1)

- Aumento de temperatura → aumento no conteúdo de água → maior transporte → aumento na precipitação

Conclusões

- O aumento da temperatura em baixos níveis permite um aumento na água precipitável e ambos para uma atmosfera mais instável nos subtrópicos.
- Nossas simulações mostram uma anomalia anticiclônica sobre os Andes que contribui, em parte, com o transporte de umidade extra necessário para o aumento da precipitação nos subtrópicos (o resto vem da Amazônia).
- Ainda estamos investigando se:
 - A anomalia anticiclônica é confiável?
 - Irão haver mais CCMs e eventos extremos?
 - Como nossos resultados irão se alterar ao considerar o