



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m19/2010/09.08.14.34-NTC

**IMPACTOS DAS CONDIÇÕES INICIAIS DA UMIDADE
DO SOLO, DA COBERTURA VEGETAL E DOS
PARÂMETROS FÍSICOS DOS PROCESSOS DE
SUPERFÍCIE DO MODELO DE CIRCULAÇÃO GLOBAL
DO CPTEC NAS SIMULAÇÕES CLIMÁTICAS DE
VERÃO SOBRE A AMÉRICA DO SUL**

Solange Silva de Souza

Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3882TJ8>>

INPE

São José dos Campos

2010

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**Presidente:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Membros:

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr^a Regina Célia dos Santos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Horácio Hideki Yanasse - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Deicy Farabello - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Vivéca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m19/2010/09.08.14.34-NTC

**IMPACTOS DAS CONDIÇÕES INICIAIS DA UMIDADE
DO SOLO, DA COBERTURA VEGETAL E DOS
PARÂMETROS FÍSICOS DOS PROCESSOS DE
SUPERFÍCIE DO MODELO DE CIRCULAÇÃO GLOBAL
DO CPTEC NAS SIMULAÇÕES CLIMÁTICAS DE
VERÃO SOBRE A AMÉRICA DO SUL**

Solange Silva de Souza

Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3882TJ8>>

INPE

São José dos Campos

2010

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a contribuição de Paulo Yoshio Kubota, pelos esclarecimentos e assistência fornecidos na execução do modelo global.

Agradecemos também ao Dr Saulo Ribeiro de Freitas pelo fornecimento dos campos diários de umidade do solo os quais foram utilizados para a inicialização do modelo global.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa PCI DTI (384188/2006-0).

RESUMO

A representação acurada das condições de contorno inferior nos modelos atmosféricos contribui significativamente para a melhoria das previsões nas escalas de tempo e de clima sazonal. Nesse sentido, este estudo documenta alguns experimentos de sensibilidade em simulações numéricas feitas com o modelo MCGA do CPTEC/INPE. Os experimentos incluem a inserção de condições iniciais de umidade do solo e cobertura vegetal e de parâmetros de vegetação e de solo (morfológicos e fisiológicos) mais próximos àqueles comumente observados sobre a América do Sul. A avaliação foi feita com base em uma simulação sazonal do clima e os dados meteorológicos observados na região durante o verão austral. Apesar da permanência dos erros sistemáticos do modelo global, os resultados foram satisfatórios e indicaram a necessidade de investigações adicionais para a melhoria das previsões de tempo e clima sobre a América do Sul.

IMPACTS OF INITIAL CONDITIONS OF SOIL HUMIDITY, VEGETAL COVERING AND PHYSICAL PARAMETERS OF SURFACE PROCESSES IN THE CPTEC GLOBAL CIRCULATION MODEL ON SUMMER'S SEASONAL SIMULATION OVER SOUTH AMERICA

ABSTRACT

The accurate representation of the initial and boundary conditions in the atmospheric models contributes significantly for the improvement of the forecasts in the scales of weather and seasonal climate. Therefore, this study documents sensitivity experiments in numerical simulations with the CPTEC/INPE MCGA. The experiments include the insertion of initial conditions of soil humidity and vegetal covering and of vegetation and soil parameters (morphological and physiological) more similar to those normally observed on South America. The evaluation was made on a seasonal simulation using the observed meteorological data in the region during the austral summer. Despite the maintenance of systematic errors, the results were satisfactory and indicated the necessity of additional studies for the improvements of the weather and climate over South America.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 - Mapa de vegetação sobre a América do Sul na resolução espacial nominal de 1 km, baseado na varredura do sensor AVHRR de abril/1992 até março/1993. Fonte: http://edcsns17.usgs.gov/glcc/southam_img.html	8
Figura 2.2 - Mapa de vegetação sobre a América do Sul na resolução T062 do modelo MCGA/SSiB do CPTEC/INPE. Fonte: http://intranet.cptec.inpe.br/dmd/grupos/spr/html/spr.shtml	11
Figura 2.3 - Mapa de vegetação sobre a América do Sul na resolução T062 do modelo MCGA/SSiB do CPTEC/INPE: (a) Controle (Cândido, 2002), (b) PROVEG (AMZ+NEB). A legenda é a mesma da Figura 2.2.	11
Figura 2.4 - Mapa da textura de solos sobre a América do Sul na resolução do MCGA T062. 1-Areia; 2-Areia barrenta; 3-Barro arenoso; 4-Barro/silte; 5-Barro; 6-Barro argilo-arenoso; 7-Barro areno-siltoso; 8-Barro argiloso; 9-Barro arenoso; 10-Argila/silte; 11-Argila; 12-Silte. A escala da capacidade de retenção de água no solo aumenta em direção dos solos arenosos (tons azuis) para os siltosos (tons vermelhos). Fonte de dados: GF2006	16
Figura 2.5 - Fração de umidade do solo diária ($w=\theta/\theta_s$, adm) no modelo MCGA sobre a América do Sul em dois níveis: (a) Z1 = -0,025 m; (b) Z8 = -3,25 m. Os dados estão na resolução espacial do modelo MCGA T062 e a base para o cálculo de w são os do GPCP em 19/05/2004, cuja resolução espacial é de 1o x 1o. Fonte de dados: GF2006	17
Figura 2.6 - Fração de umidade do solo ($w =\theta/\theta_s$, adm) diária sobre a América do Sul nas camadas do modelo SSiB: (a) camada superficial; (b) zona das raízes; (c) zona de drenagem. Os dados estão na resolução espacial T062 do modelo MCGA. Os dados base para o cálculo de w são os do GPCP em 19/05/2004, cuja resolução espacial é de 1o x 1o. Fonte de dados: GF2006.....	18
Figura 2.7 - Fração de umidade do solo ($w =\theta/\theta_s$, adm) sobre a América do Sul segundo a climatologia de Wilmott et al. (1985) nas camadas do modelo SSiB: (a) camada superficial; (b) zona das raízes; (c) zona de drenagem. Os dados estão na resolução espacial T062 do modelo MCGA e são para o dia 19/05	19
Figura 3.1 - Fração de umidade solo climatológica ($w=\theta/\theta_s$, adm) sobre a América do Sul no modelo SSiB para os dias 01-13/09. Os dados estão na resolução espacial T062 do modelo MCGA. Os campos são iguais para as 3 camadas do solo	31

Figura 3.2 - Fração de umidade do solo ($\omega=\theta/\theta_s$, adm) sobre a América do Sul na camada superficial do modelo SSiB para os dias 01-13/09/2002. Os dados estão na resolução espacial T062 do modelo MCGA. Fonte de dados: GF2006	32
Figura 3.3 - Idem a Figura 3.2 para a zona das raízes.....	33
Figura 3.4 - Idem a Figura 3.2 para a zona de drenagem	34
Figura 3.5 - Fração de umidade do solo ($\omega=\theta/\theta_s$, adm) sobre a América do Sul na camada superficial do modelo SSiB para os dias 01-13/09/2005. Os dados estão na resolução espacial T062 do modelo MCGA. Fonte de dados: GF2006	35
Figura 3.6 - Idem a Figura 4.5 para a zona das raízes.....	36
Figura 3.7 - Idem a Figura 4.5 para a zona de drenagem	37
Figura 4.1 - Precipitação observada média diária (mm/dia) em DJF/2003. BRASIL representa a base de dados disponível no CPTEC/INPE. Os dados estão na resolução do MCGA	41
Figura 4.2 - Precipitação observada média diária (mm/dia) em DJF/2006. BRASIL representa a base de dados disponível no CPTEC/INPE. Os dados estão na resolução do MCGA	42
Figura 4.3 - Desvio padrão da precipitação média diária (mm/dia) em DJF/2003 (a) e DJF/2006 (b) obtido através dos sete membros integração com o MCGA/SSiB. Valores altos indicam região de maiores dispersão entre membros	43
Figura 4.4 - Distribuição espacial média durante DJF/2003 obtida através do modelo MCGA (à esquerda) e do NCEP (à direita): (a) PNMM (hPa); (b) escoamento do vento em 850 hPa (m/s); (c) escoamento do vento em 200 hPa (m/s); (d) umidade específica em 850 hPa (g/kg); e) fluxo horizontal de umidade específica em 850 hPa (g/kg); f) temperatura do ar em 850 hPa (g/kg) (Continua).....	47
Figura 4.5 - Distribuição espacial média durante DJF/2006 obtida através do modelo MCGA (à esquerda) e do NCEP (à direita): (a) PNMM (hPa); (b) escoamento do vento em 850 hPa (m/s); (c) escoamento do vento em 200 hPa (m/s); (d) umidade específica em 850 hPa (g/kg); e) fluxo horizontal de umidade específica em 850 hPa (g/kg); f) temperatura do ar em 850 hPa (g/kg) (Continua).....	49
Figura 4.6 - Perfil vertical de ômega (10^5 cb/s) e de umidade específica (g/kg) durante DJF/2003 obtida através do modelo MCGA Ctrl. Para cada retângulo selecionado, é indicado o nome da sub-região e os valores de precipitação (Prec, em mm/dia) e de pressão atmosférica à superfície (Psfc, em hPa) médios sobre a área. A seta grossa (rosa) nas regiões AMZ2 e Sul1 indicam movimentos subsidentes. A linha horizontal Z=0 representa o nível da superfície.....	51
Figura 5.1 - Precipitação média diária (mm/dia) em DJF/2003 simulada pelo modelo (a e c); observada (c e d); anomalia (c e e).....	55

Figura 5.2 - Precipitação média diária (mm/dia) em DJF/2003: (a) MCGACtrl; (b) MCGAUsolo; (c) MCGAUsolo – MCGACtrl.....	55
Figura 5.3 - Precipitação média diária (mm/dia) em DJF/2006 simulada pelo modelo (a e c); observada (c e d); anomalia (c e e).....	56
Figura 5.4 - Precipitação média diária (mm/dia) em DJF/2006: (a) MCGACtrl; (b) MCGAUsolo; (c) MCGAUsolo – MCGACtrl.....	56
Figura 5.5 - Precipitação média diária (mm/dia) simulada no experimento MCGAProveg (à esquerda), anomalia MCGAProveg – MCGACtrl.(no centro) e anomalia MCGAProveg – MCGAUsolo.(à direita) para DJF/2003 (a) e DJF/2006 (b).	60
Figura 5.6 - Precipitação média diária (mm/dia) para DJF/2003: simulada (à esquerda), observada (no centro), diferença (à direita). As simulações contêm as modificações nos parâmetros de vegetação e de solo: EXP MCGA_E2 - MCGA_E4.	61
Figura 5.7 - Precipitação média diária (mm/dia) para DJF/2006: simulada (à esquerda), observada (no centro), diferença (à direita). As simulações contêm as modificações nos parâmetros de vegetação e de solo: EXP MCGA_E4 - MCGA_E9 (Continua).....	62

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 - Parâmetros de vegetação e de solo prescritos no modelo SSiB para alguns biomas	21
Tabela 3.1 - Configuração dos experimentos numéricos realizados com o MCGA/SSiB	29
Tabela 3.2 - Especificação dos parâmetros de vegetação e de solo modificados durante os experimentos com o MCGA/SSiB. Cada experimento constitui um novo conjunto para os EXP7 (verão de 2003) e EXP8 (verão de 2006) apresentados na Tabela 3.1.	30

SUMÁRIO

Pág.

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MODELO DE SUPERFÍCIE	7
2.1. Mapa de Vegetação	7
2.1.1. Mapa de Vegetação – Etapa I	7
2.1.2. Mapa de Vegetação – Etapa II	9
2.2. Campos de Umidade do Solo	12
2.3. Parâmetros de Vegetação e de Solo.....	19
3. MODELO DE CIRCULAÇÃO GERAL DA ATMOSFERA	23
3.1. Experimentos Numéricos	23
3.1.1. Condições iniciais de umidade do solo.....	24
3.1.2. Condição de contorno da cobertura vegetal.....	26
3.1.3. Modificação nos parâmetros de vegetação e de solo	26
4. PREVISÃO DO CLIMA SAZONAL.....	39
4.1. Erros sistemáticos na precipitação.....	39
4.2. Padrões de circulação atmosférica	44
5. IMPACTOS NA PREVISÃO DO CLIMA.....	53
5.1. Impacto das condições iniciais da umidade do solo.....	53
5.2. Impacto da atualização do mapa da cobertura vegetal.....	57
5.3. Impacto da modificação nos parâmetros de vegetação e de solo.....	58
6. CONCLUSÃO.....	65
6.1. Sugestões	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

1 INTRODUÇÃO

Os modelos de circulação geral da atmosfera (MCGAs) constituem uma grande ferramenta para a previsão de tempo e de clima sobre várias regiões do globo. As informações acerca de resultados numéricos obtidos com base em tais modelos podem ser usadas por várias unidades governamentais e/ou não-governamentais como medida de alerta, em projetos de mitigação, dentre outros. Assim, é de extrema relevância a realização de experimentos numéricos que possam propiciar melhorias nas simulações e nas previsões de tempo e de clima sobre uma dada região. Os modelos MCGAs nos permitem obter a informação da circulação de grande escala associada ao comportamento da atmosfera em todo o globo.

De particular interesse, o modelo atmosférico existente no CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e de Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) consegue capturar os padrões climatológicos e a variabilidade sazonal sobre a América do Sul; todavia, apresenta erros sistemáticos principalmente na precipitação. O modelo global é derivado do modelo COLA (Kinter et al., 1997). De um modo geral, o MCGA do CPTEC tende a subestimar a precipitação sobre a Amazônia (AMZ) e superestimar a precipitação sobre o Nordeste (NEB) e a região Sudeste (região da Zona de Convergência do Atlântico Sul, ZCAS) do Brasil. Esta última é de extrema relevância na organização e distribuição da precipitação em várias regiões do país, principalmente durante a estação de verão. Vários autores discutem os erros sistemáticos e os padrões climatológicos global do MCGA do CPTEC (Cavalcanti, 1996; Cavalcanti et al., 1998; Rocha, 2001; Cavalcanti et al., 2002; Marengo et al., 2003; entre outros). O modelo atmosférico MCGA foi acoplado ao modelo de superfície *Simplified Simple Biosphere Model* - SSiB (Xue et al., 1991).

A minimização dos erros sistemáticos do modelo MCGA/SSiB envolve a compreensão de vários aspectos inerentes a parametrizações físicas envolvidas, bem como, as condições de contorno inferior as quais são fornecidas a esse modelo. Nas condições de contorno inferior, destaca-se a condição inicial de umidade do solo e a cobertura vegetal, as quais podem ser modificadas e melhoradas com certa facilidade, através de uso de informações provenientes de fontes diversas.

No modelo SSiB, a condição de umidade do solo é determinante na estimativa do fluxo de calor latente (e nos demais fluxos), uma vez que a água disponível no solo é utilizada pelas plantas através das raízes e é passada para a atmosfera através dos estômatos, sendo regulada pelo estresse hídrico das plantas. Apesar do modelo SSiB ter a umidade do solo como uma variável prognóstica, o primeiro passo de tempo de integração do modelo requer uma distribuição espacial da umidade do solo, ou seja, a condição inicial de umidade do solo. Esse parâmetro, a condição inicial da umidade do solo, afeta as previsões numéricas nas escalas temporais de dias (previsão de tempo) até meses (previsão de clima sazonal), conforme constatado por Cândido (2002) para o verão sobre a América do Sul. Adicionalmente, uma representação não realista da distribuição espacial da umidade do solo implica num aumento do período de spin-up (tempo de ajuste) do modelo (Oyama et al., 2000), fazendo-se necessário um período de integração bem maior para a obtenção de melhores resultados, o que compromete as previsões de tempo e de clima de uma determinada região.

A relação entre a cobertura vegetal e o clima de uma determinada região é sabida há várias décadas. Por exemplo, a atmosfera é sensível ao albedo da superfície, à umidade do solo, à rugosidade, e outras características da superfície em muitas escalas de tempo (Charney et al., 1977; Shukla e Mintz, 1982; Sud et al., 1988). As propriedades morfológicas da vegetação, tais como o índice de área foliar, ângulo de distribuição das folhas e coeficientes de

espalhamento das folhas e do solo, são importantes para determinar as características da superfície e sua variação; portanto, afetam as interações entre a biosfera terrestre e a atmosfera, especificamente os fluxos de radiação, de momentum, de calor sensível e de calor latente.

Outra questão que deve ser avaliada é a consideração de um panorama mais realista da cobertura vegetal e, conseqüentemente, a verificação dos impactos causados na interação superfície-atmosfera. A representação incorreta da cobertura vegetal nos esquemas de superfície de transferência solo-atmosfera pode induzir a erros significativos nas previsões, sejam elas de tempo, climáticas ou hidrológicas, afetando sua confiabilidade.

Assim, neste trabalho também foi utilizado um mapa de cobertura vegetal mais detalhado e atualizado, o qual incluiu áreas com mudanças de uso da terra devidas às ações antrópicas sobre a AMZ (PROVEG-AMZ) e sobre o NEB (PROVEG-NEB), mapa este elaborado pelo projeto PROVEG do INPE (Sestini et al., 2003; Alvalá et al., 2005). Estudos anteriores foram realizados utilizando esses mapas, principalmente utilizando modelos regionais, os quais confirmam impactos nas componentes dos balanços de radiação e de energia à superfície e no clima. A degradação da cobertura vegetal ao longo do Arco de Desflorestamento levou à redução da precipitação na faixa costeira da região (norte dos Estados do Pará e do Maranhão) e ao aumento no interior do continente ao longo da área desflorestada (Correia, 2005; Souza, 2006). Sobre as áreas antropizadas no NEB, a mudança da cobertura natural por atividades agropecuárias (agricultura mais pasto; tendo sido considerada no modelo SSiB como a classe de cultivos agrícolas) levou ao aumento da precipitação principalmente sobre o Estado do Ceará. Esse aumento de precipitação surgiu devido à utilização de parâmetros não calibrados para a classe de cultivos agrícolas no modelo de superfície. Ressalta-se que o estudo de Souza (2006) considerou apenas a atualização da cobertura vegetal sobre quatro Estados do NEB (Alagoas, Ceará, Paraíba, Pernambuco e Sergipe).

Os resultados evidenciaram que os impactos ocorridos com a inserção de diferentes mapas estão diretamente associados às mudanças nos parâmetros representativos de cada tipo de bioma, isto é, na cobertura da vegetação, índice de área foliar, profundidade do solo, rugosidade da superfície, albedo, etc. Em particular, o mapa atualizado e corrigido sobre região da Amazônia Legal (PROVEG-AMZ), o qual inclui principalmente o desflorestamento da AMZ ao longo do Arco de Desflorestamento, demandou a inserção de um novo tipo de bioma no modelo de superfície SSiB, classe essa nomeada de pastagem degradada, e envolveu processos de calibração e validação desse novo bioma no modelo de superfície SSiB (Correia et al., 2005).

Todavia, o processo de calibração e validação de parâmetros de superfície demanda uma série de integrações numéricas, um esforço computacional e, principalmente, medições micrometeorológicas *in situ*. As medições de fluxos das componentes dos balanços de radiação e de energia próximas ao nível do dossel das plantas e no solo são utilizadas numa versão off-line (desacoplada de um modelo atmosférico) do modelo de superfície de forma a permitir os ajustes dos parâmetros de vegetação e solo no modelo. A indisponibilidade de plataformas com observações contínuas de tais informações, além da demanda de tempo envolvida em tais processos, inviabilizou a aplicação desta metodologia no presente trabalho. Sendo assim, a atualização de parâmetros de superfície no modelo SSiB foi feita com base em documentos existentes na literatura, que abordaram pesquisas sobre medidas de campo em ecossistemas de caatinga, cerrado, áreas de cultivos agrícolas, entre outros, de forma a melhor representar os principais ecossistemas existentes sobre a América do Sul. Acreditamos que esse esforço nos forneceu uma representação mais realista dos parâmetros físicos da vegetação e do solo do que os atualmente usados nos modelos operacionais da instituição. Exceto sobre a AMZ (coberta por floresta tropical, principalmente, e por pastagem degradada), os parâmetros de vegetação e de solo disponíveis no modelo SSiB

foram calibrados em outras partes do globo tais como no Sahel/África (para o bioma caatinga) e na França (para os cultivo agrícola). Ressalta-se que o cerrado brasileiro é considerado no modelo como uma classe de savana africana.

Nos estudos de calibração e validação sobre as áreas da AMZ, citam-se: Sellers et al. (1989), sobre a floresta amazônica; Rocha et al. (1996), sobre a pastagem degradada; Correia et al. (2005), sobre a floresta amazônica e a pastagem degradada. Este último foi feito utilizando a versão simplificada do SiB (SSiB); os dois primeiros, a versão original SiB (Sellers et al., 1986). Os procedimentos de correção dos parâmetros no modelo de superfície só foram possíveis devido aos experimentos de campo dos Projetos ABRACOS (*Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observation Study*) e LBA (*Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia*). A necessidade da calibração e validação dos biomas nos modelos de superfície provém da inclusão de uma representação mais realista dos parâmetros de vegetação e de solo (morfológicos e fisiológicos) no modelo e, por conseguinte, deve fornecer uma estimativa dos fluxos de energia e de radiação mais próximas àquelas observadas. Assim, o modelo atmosférico global teve condições de contorno inferior mais acurada sobre o continente, com implicações positivas na estrutura da baixa troposfera, através da Camada Superficial e da Camada Limite Atmosférica.

Assim, este trabalho constou da inclusão de um mapa de cobertura vegetal mais atualizado; modificação de alguns parâmetros de vegetação e de solo (morfológicos e fisiológicos) no modelo de superfície SSiB; introdução de uma condição inicial umidade do solo mais realista, calculada com base em balanço hídrico sobre a região. Portanto, usou-se o modelo MCGA/SSiB para iniciar uma série de experimentos que permitiram apontar melhorias nas previsões sazonais do clima sobre a América do Sul, decorrentes da introdução dessas melhorias acima assinaladas.

Posto isto, este documento teve como objetivo introduzir modificações nas condições de contorno inferior do modelo atmosférico, visando melhorias na previsão sazonal do clima sobre a América do Sul. Esse objetivo foi detalhado na forma das seguintes etapas, ou objetivos específicos: i) introduzir campos de umidade do solo estimados por modelo hidrológico, em substituição aos campos climatológicos utilizado atualmente no modelo atmosférico MCGA do CPTEC/INPE, acoplados ao modelo de superfície SSiB; ii) inserir o mapa de vegetação no modelo de superfície; iii) atualizar os parâmetros de vegetação (morfológicos e fisiológicos) e de solo existentes no modelo SSiB, sob o ponto de vista do continente sul americano, com base nas informações encontradas na literatura; iv) Estudar o impacto desses modificações em previsões sazonais climáticas durante o verão.

Na explanação, o documento está disposto na seguinte seqüência de informações: Item 2, com uma apresentação inicial e uma abordagem sobre os dados pertencentes ao modelo de superfície SSiB; Item 3, experimentos realizados com o modelo MCGA/SSiB; Itens 4 a 7, contém resultados obtidos com o MCGA/SSiB propriamente dito; Item 8, conclusão e sugestões para trabalhos futuros.

2 MODELO DE SUPERFÍCIE

O modelo atmosférico global demanda o acoplamento de um modelo de superfície para os cálculos dos fluxos turbulentos (latente e sensível) e de momentum, dentre outros parâmetros, na superfície terrestre. Foi usado a versão do modelo atmosférico em que está acoplado o modelo de superfície *Simplified Simple Biosphere Model - SSiB* (Xue et al., 1991). De posse dessa informação, este Item apresenta e discute os mapas de vegetação (item 2.1) e de umidade do solo (item 2.2) e os principais parâmetros associados (item 2.3) prescritos ao modelo SSiB.

2.1. Mapa de Vegetação

A seleção de um mapa de vegetação para a utilização em modelos meteorológicos reporta a necessidade em representar o estado “real” da cobertura vegetal para determinado propósito. Sendo assim, inicialmente apresenta-se o mapa de vegetação utilizado para a estimativa diária do conteúdo de umidade do solo sobre o globo (item 2.2), nomeado Mapa de vegetação – Etapa I; a seguir, os mapas de vegetação a serem utilizados nos experimentos numéricos com o MCGA/SSiB, nomeado Mapa de vegetação – Etapa II. No modelo SSiB atualmente existem 13 classes de vegetação (adaptado de Dorman e Sellers, 1989) as quais definem propriedades da superfície continental. Cada classe é associada a um bioma, como seja, a um tipo de vegetação.

2.1.1. Mapa de Vegetação – Etapa I

O mapa de vegetação utilizado na estimativa do conteúdo de umidade do solo (item 2.2) foi composto com base em duas fontes de dados: i) *U.S. Geological Survey – USGS* na versão 2.0 (Figura 2.1); ii) Projeto PROVEG/INPE sobre a Amazônia Legal – PROVEG-AMZ (Sestini et al., 2003). Os dois mapas foram agregados e tiveram suas resoluções espaciais (~ 1 km) degradada para a

resolução espacial do modelo MCGA/SSiB, como seja, T062 . A Figura 2.2 mostra o mapa de vegetação resultante sobre a América do Sul. Este mapa encontra-se disponível em http://edcsns17.usgs.gov/glcc/southam_img.html.



Figura 2.1. Mapa de vegetação sobre a América do Sul na resolução espacial nominal de 1 km, baseado na varredura do sensor AVHRR de abril/1992 até março/1993.
Fonte: http://edcsns17.usgs.gov/glcc/southam_img.html.

Neste mapa, ressalta-se a não representação da vegetação de caatinga na região semi-árida do NEB; ao invés disso, verifica-se uma expansão da vegetação de cerrado (representada no modelo como savana, conforme discussão posterior) do Brasil Central (CEB) para o NEB. Todavia, o mapa inclui mudanças de uso da terra (inserção da classe de cultivos agrícola) em alguns Estados do NEB e da AMZ. Para a AMZ, a região com cultivos agrícolas na parte leste do Estado do Pará normalmente é atribuída como classe de

pastagem degradada, em associação a região denominada Arco de Desflorestamento da Amazônia em que a floresta é substituída por gramíneas para a pastagem de gado.

2.1.2. Mapa de Vegetação – Etapa II

As melhorias nas previsões sazonais de clima sobre a América do Sul demandam a investigação de uma representação mais realista e atualizada da vegetação, inclusive com as mudanças de uso da terra, no modelo MCGA/SSiB. Os experimentos numéricos realizados com o modelo global foram feitos com base em dois diferentes mapas: i) mapa controle; ii) mapa PROVEG. Os mapas diferem em si devido somente à atualização e correção da cobertura vegetal realizada através do projeto PROVEG/INPE. Para a realização do experimento, o mapa é inicialmente degradado para a respectiva resolução espacial do modelo atmosférico.

O mapa controle é o mapa de vegetação atualmente utilizado nas previsões numéricas com o MCGA do CPTEC/INPE. Trata-se do mapa original da Universidade de Maryland, com resolução horizontal de 1 km, corrigido por Cândido (2002). Cândido (2002) constatou que o mapa de vegetação elaborado pela Universidade de Maryland apresentava inconsistências na região do continente brasileiro, contendo excessiva área de savana (bioma 6 na legenda do SSiB) em parte do NEB e das regiões Central e Sudeste do Brasil. Também foram observadas ocorrências aleatórias do bioma 7 (campos extratropicais) sobre algumas regiões do Brasil, gerando inconsistências com as características próprias deste bioma, desde que são observados apenas em climas frios (Dorman e Sellers, 1989).

O mapa elaborado pelo projeto PROVEG/INPE contempla a correção da cobertura vegetal sobre a Amazônia Legal (Sestini et al., 2003), a qual inclui o desflorestamento da Amazônia dentro do escopo do projeto PROVEG-AMZ, e

sobre a região NEB (Alvalá et al., 2005). Nesta última região foram incluídas as atividades agropecuárias nos Estados de Alagoas, do Ceará, da Paraíba e de Sergipe dentro do escopo do projeto PROVEG-NEB.

Na resolução espacial do MCGA/SSiB T062, no mapa de controle (Figura 2.3a), sobre a América do Sul são verificados 7 diferentes tipos de biomas, como: floresta tropical (tipo 1), floresta mista (tipo 3), savana (tipo 6), caatinga (tipo 8), arbustos latifoliados com solo exposto (tipo 9), solo nu (tipo 11), cultivos agrícolas (tipo 12). No mapa do PROVEG (AMZ+NEB) (Figura 2.3b) existem, adicionalmente, os biomas referentes à pastagem degradada, sobre a região do Arco de Desflorestamento na Amazônia Legal, e a atividade agropecuária nos quatro Estados do NEB. Para o modelo de superfície SSiB, o bioma pastagem degradada implicou na inserção de uma nova classe de vegetação (tipo14), com a inclusão dos respectivos parâmetros morfológicos e fisiológicos modelo calibrados por Correia et al. (2005); entretanto, o bioma associado à atividade agropecuária foi o cultivo agrícola (tipo 12), devido a falta de calibrações nesse ecossistema.

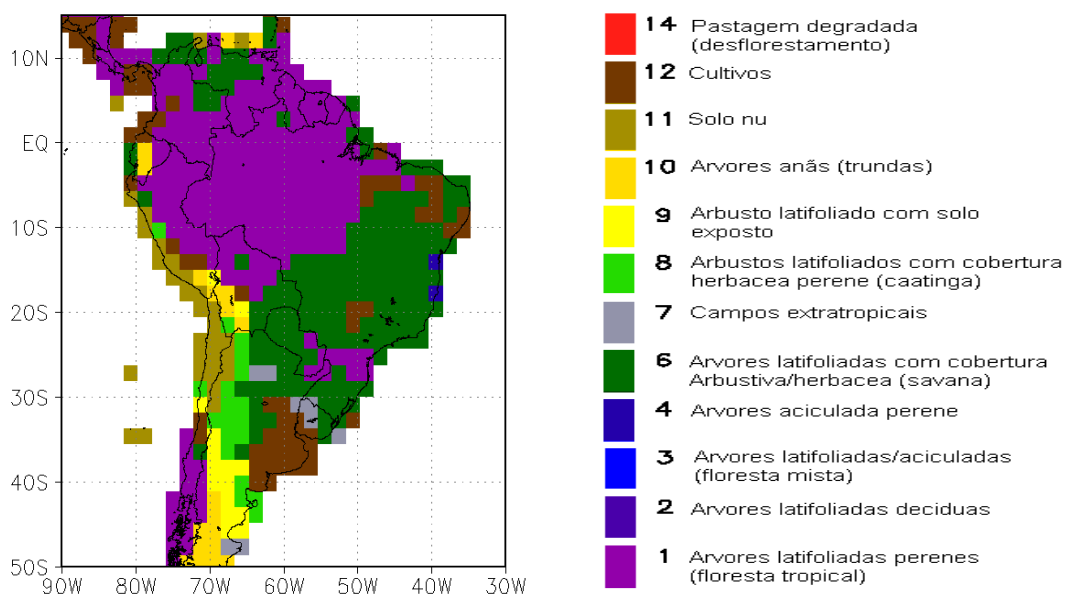


Figura 2.2. Mapa de vegetação sobre a América do Sul na resolução T062 do modelo MCGA/SSiB do CPTEC/INPE.
 Fonte: <http://intranet.cptec.inpe.br/dmd/grupos/spr/html/spr.shtml>.

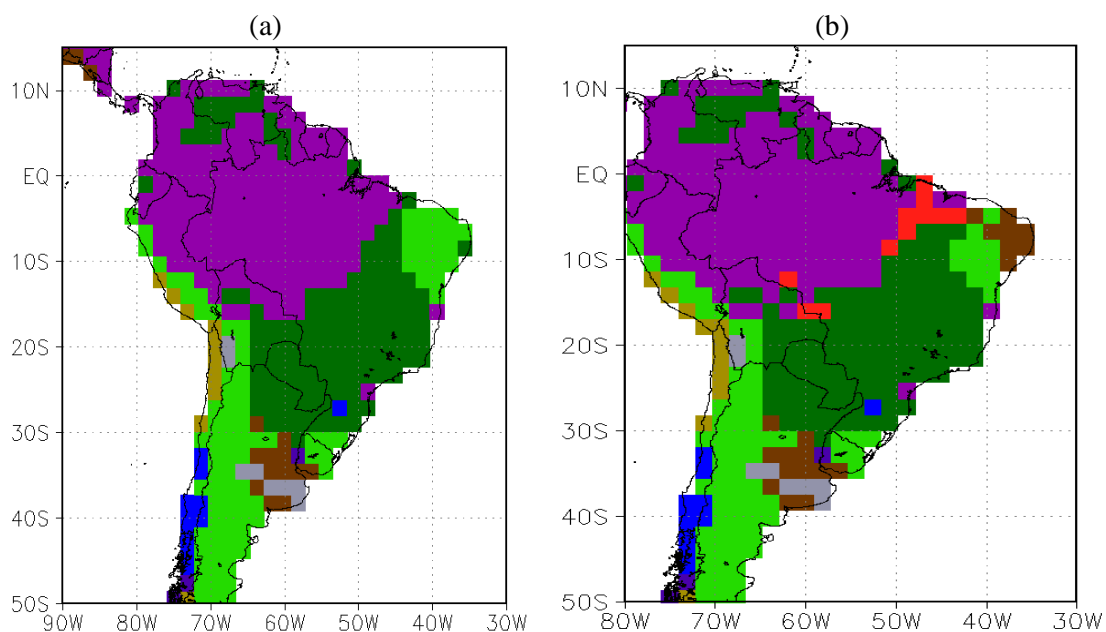


Figura 2.3. Mapa de vegetação sobre a América do Sul na resolução T062 do modelo MCGA/SSiB do CPTEC/INPE: (a) Controle (Cândido, 2002), (b) PROVEG (AMZ+NEB). A legenda é a mesma da Figura 2.2.

2.2. Campos de Umidade do Solo

As melhorias nas previsões sazonais do clima sobre a América do Sul foram avaliadas considerando no primeiro passo de integração do modelo a inclusão de campos de umidade do solo mais realista sobre a região, o que constituiu uma Etapa preliminar, nomeada de Etapa I. Dessa forma, esta secção, destina-se a detalhar a aquisição e construção do parâmetro base que compõe esta Etapa: a umidade do solo. A condição inicial da umidade do solo no modelo MCGA/SSiB foi calculada com base num modelo bucket desacoplado desenvolvido por Gevaerd e Freitas (2006) – daqui em diante citado como GF2006. A metodologia foi desenvolvida com este propósito, como seja, realizar uma estimativa da umidade do solo para posterior inicialização do parâmetro em modelos de previsão numérica de tempo e clima. Como resultado desse modelo bucket, tem-se campos 3D diários de umidade volumétrica em oito (8) camadas de solo. GF2006 mostraram que os mapas de umidade do solo conseguem reproduzir de forma coerente os padrões esperados em cada estação na América do Sul. Mostraram também que a implementação dos campos de umidade do solo espacialmente homogêneos num modelo atmosférico regional (*Brazilian Regional Atmospheric Modeling System* - BRAMS) causou impacto apreciável na qualidade da simulação. Como um dos principais dados de entrada, é utilizada a precipitação proveniente de duas fontes de dados: i) *Climatic Research Unit* - CRU (Hulme et al., 1998), na resolução de 0,5o x 0,5o, referente ao período de 1975 a 2000; ii) *Global Precipitation Climatology Project* - GPCP, na resolução de 1,0o x 1,0o, para cálculos a partir de 2000. Cada célula do modelo está associada à representação da cobertura vegetal e, conforme comentado no item 2, foi utilizado o mapa de vegetação da Etapa I (item 2.1.1). Nesse modelo, a equação prognóstica aplicada para o conteúdo de umidade do solo tem base na Equação de Richards (HILLEL, 1998),

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial \theta}{\partial z} - K \right) + S \quad (1)$$

em que θ é o conteúdo de umidade no solo, em volume de água por volume de solo [m³/m³]; D, difusividade hidráulica [m²/s]; K, condutividade hidráulica [m/s]; z, profundidade da camada [m]; S, termo de fonte volumétrico associado à extração de água por raízes de plantas e mudanças de fase da água [/s].

As relações funcionais entre o conteúdo de umidade do solo e a difusividade, a condutividade e o termo fonte S são obtidas considerando as relações de Clapp e Hornberger (1978), igualmente às utilizadas pelo modelo de superfície SSiB, que relacionam a condutividade, a difusividade e o potencial matricial (V) em termos dos respectivos valores de saturação (indicadas pelo subscrito s, s), da umidade atual (θ) e de um parâmetro B:

$$\begin{aligned} w &= \frac{\theta}{\theta_s} \\ K &= K_s w^{(2B+3)} \\ D &= -B \frac{K_s}{\theta} \psi_s w^{(B+3)} \\ \psi &= \psi_s w^{(-B)} \end{aligned} \quad (2)$$

O termo S, no presente representativo da evapotranspiração, é estimado considerando o produto entre três termos, sejam eles: i) relação funcional entre a umidade da camada de solo e seus valores de capacidade de campo (θ_{cc}) e de ponto-de-murcha (θ_{pm}); ii) evapotranspiração potencial (E_p); iii) remoção de água distribuída verticalmente em função da densidade de raízes da vegetação (root(z)):

$$S = E_p f(\theta) \text{root}(z)$$

$$f(\theta) = \max \left[0, \left(1, \frac{\theta - \theta_{pm}}{\theta - \theta_{cc}} \right) \right] \quad (3)$$

A densidade de raízes ($\text{root}(z)$), em unidades de fração, equivale à razão entre a densidade de raízes em uma determinada camada de profundidade z e a densidade de raízes acumulada (ρ , kg/m²) e é calculada segundo a formulação de Arora e Bôer (2003) a qual inclui o parâmetro fração média de raízes acumuladas:

$$F(z) = 1 - e^{(-az)}, \quad (4)$$

em que a é um parâmetro médio dependente do tipo de vegetação. A evapotranspiração potencial (E_p) é estimada com o método de Thornthwaite (Pereira et al., 1997) em função da temperatura a 2 m de altura. A temperatura é determinada através da média diária global utilizando-se 22 anos de dados das reanálises do “European Center for Medium-Range Weather Forecast” (ECMWF), o que traduz uma climatologia diária de E_p com resolução espacial de 2,5° x 2,5°. A evaporação direta da camada superficial do solo (E_v) é estimada utilizando-se a relação empírica de Campbel (1985):

$$E_v = e^{(-0,82IAF)} \int S dz \quad (5)$$

em que IAF é o Índice de Área Foliar da vegetação dominante da grade. Para a solução do modelo, são fornecidas condições de fronteira superior (topo) e inferior (base) do solo.

Nesse modelo, utilizou-se o mapa de solo proveniente da FAO e do INPE (RADAM – EMBRAPA), cuja resolução espacial é de cerca de 4 km, o qual foi degradado para a resolução espacial do MCGA (Figura 2.4). No mapa,

verificam-se tipos de solos com composição que varia desde areia, sobre o NEB, até barro-argila, sobre a quase totalidade do Brasil; tipos estes que implicam em retenção de água no solo baixa e alta, respectivamente. Os solos com texturas de argila e de silte, os quais possuem valores máximos de retenção de água, não foram verificados sobre na América do Sul.

A implementação da umidade de solo estimada por GF2006 foi feita considerando a distribuição vertical da umidade do solo nas três (3) camadas do SSiB, com a aplicação de método de conservação de massa no conteúdo total de umidade de solo nas camadas do modelo. A Figura 2.5 apresenta a fração de umidade do solo diária para a primeira e a última camada de solo no modelo de GF2006 (o equivalente as profundidades $Z_1 = -0,025$ m e $Z_8 = -3,25$ m, respectivamente) e a Figura 2.6 mostra os campos redistribuídos para as camadas do modelo SSiB para um dia específico (19/05/2004), na resolução do modelo MCGA T062.

De outra forma, a assimilação do campo inicial de umidade de solo no MCGA/SSiB se faz tradicionalmente (ex., nas previsões numéricas realizadas operacionalmente) utilizando a umidade do solo climatológica proveniente de Wilmott et al. (1985), conforme apresentado na Figura 2.7. A comparação entre as Figuras 2.6 e 2.7 nos mostra a baixa variabilidade espacial do campo de umidade do solo climatológica na região tropical, conforme comentado anteriormente.

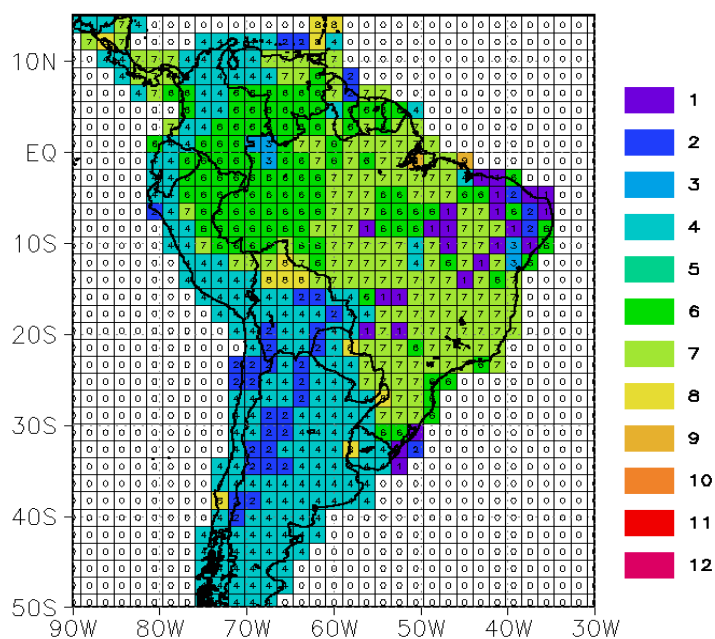


Figura 2.4. Mapa da textura de solos sobre a América do Sul na resolução do MCGA T062. 1-Areia; 2-Areia barrenta; 3-Barro arenoso; 4-Barro/silte; 5-Barro; 6-Barro argilo-arenoso; 7-Barro areno-siltoso; 8-Barro argiloso; 9-Barro arenoso; 10-Argila/silte; 11-Argila; 12-Silte. A escala da capacidade de retenção de água no solo aumenta em direção dos solos arenosos (tons azuis) para os siltosos (tons vermelhos).

Fonte: GF (2006).

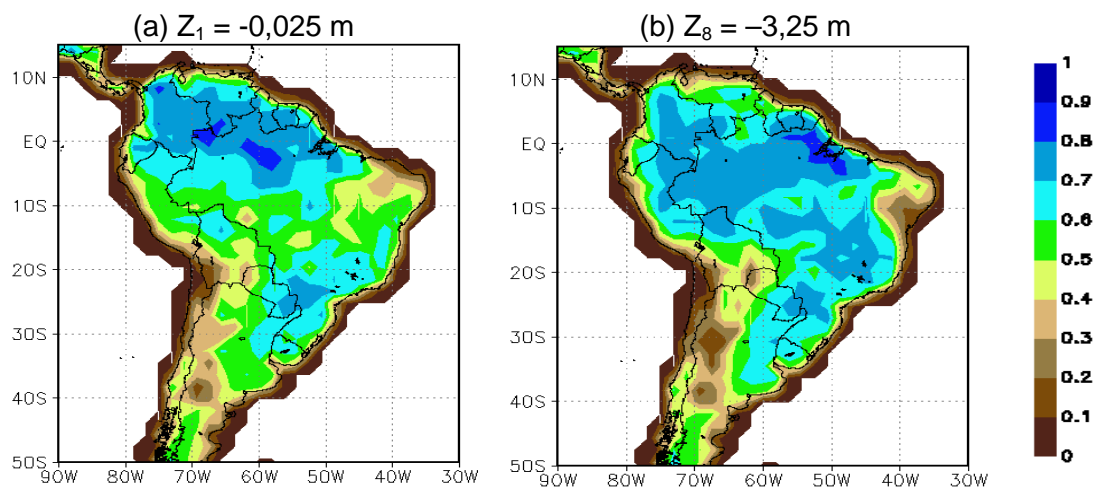


Figura 2.5. Fração de umidade do solo diária ($w=\theta/\theta_s$, adm) no modelo MCGA sobre a América do Sul em dois níveis: (a) $Z_1 = -0,025$ m; (b) $Z_8 = -3,25$ m. Os dados estão na resolução espacial do modelo MCGA T062 e a base para o cálculo de w são os do GPCP em **19/05/2004**, cuja resolução espacial é de $1^\circ \times 1^\circ$.

Fonte: GF (2006).

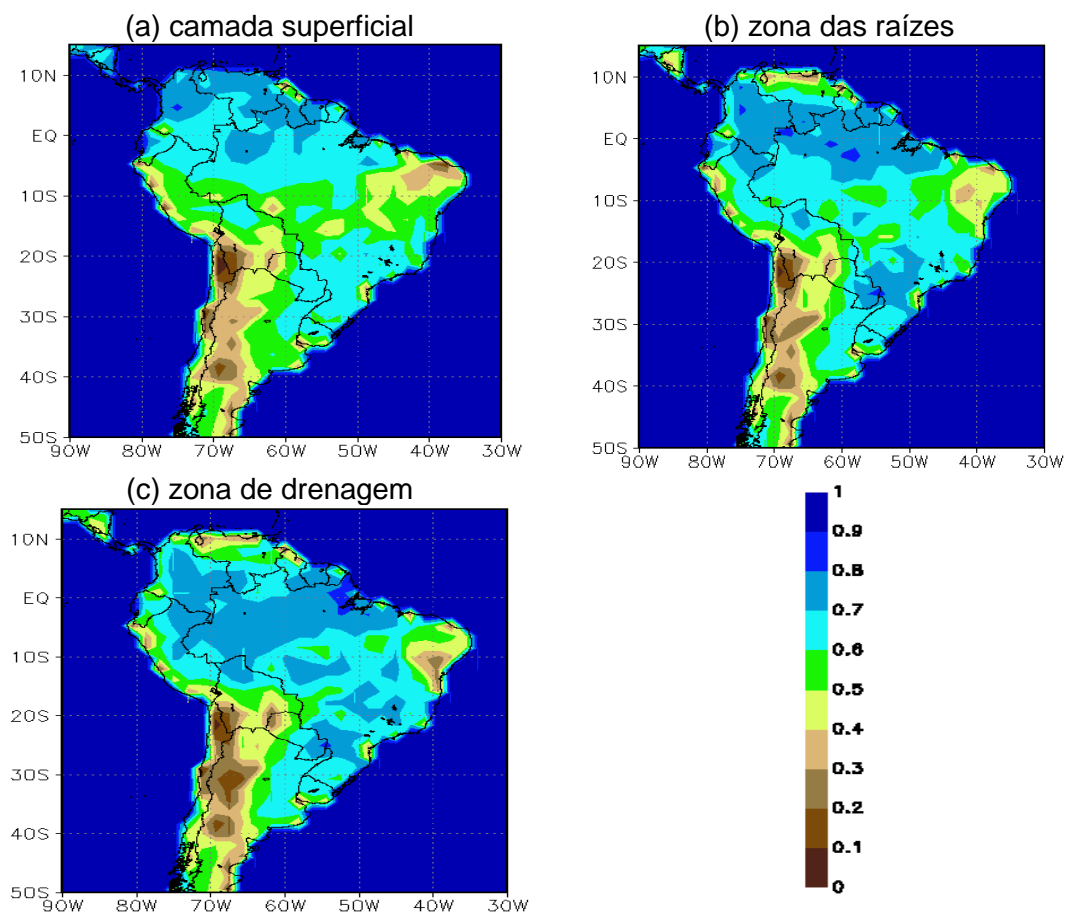


Figura 2.6. Fração de umidade do solo ($\omega = \theta/\theta_s$, adm) diária sobre a América do Sul nas camadas do modelo SSiB: (a) camada superficial; (b) zona das raízes; (c) zona de drenagem. Os dados estão na resolução espacial T062 do modelo MCGA. Os dados base para o cálculo de ω são os do GPCP em **19/05/2004**, cuja resolução espacial é de $1^\circ \times 1^\circ$.

Fonte: GF (2006).

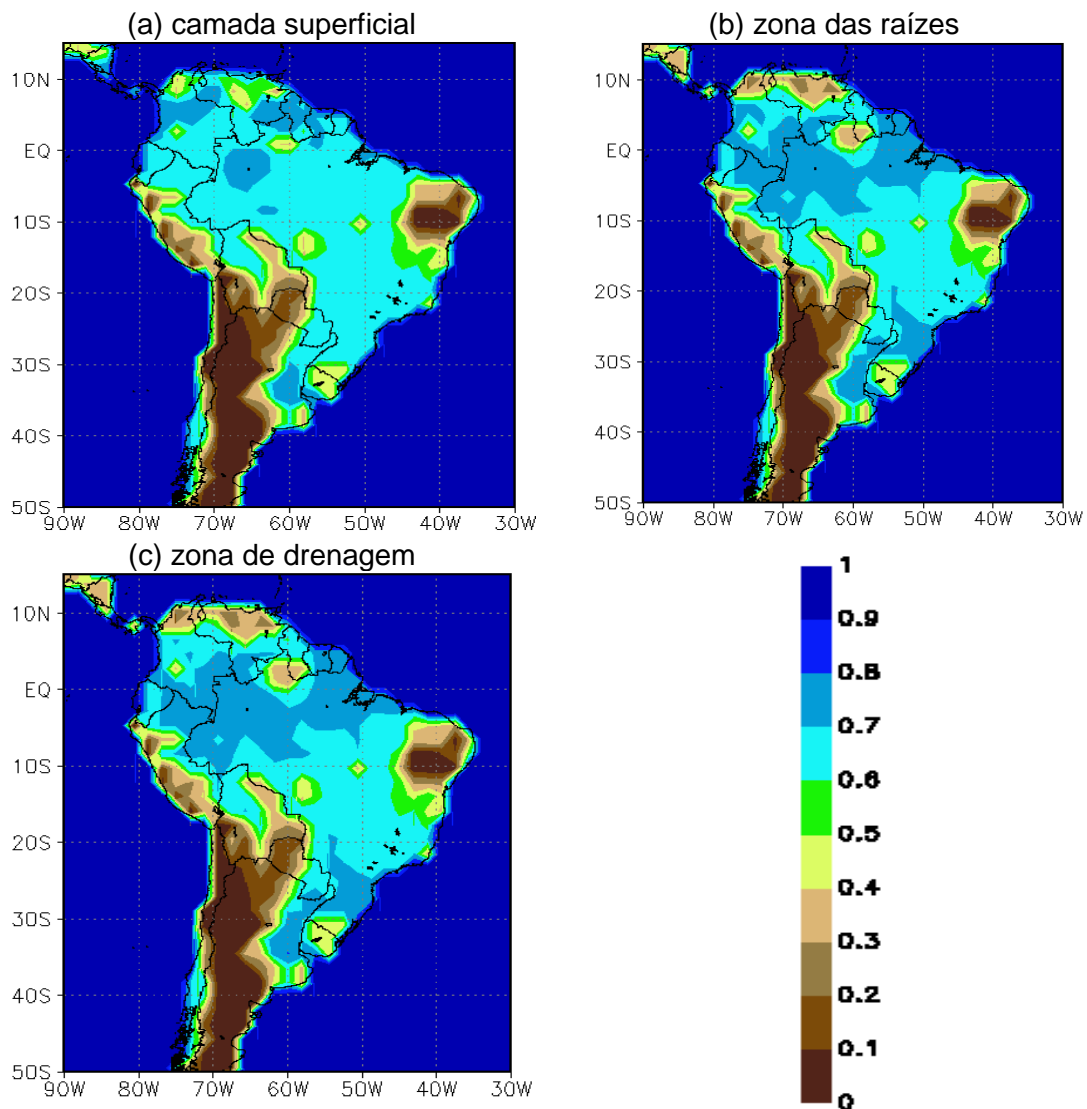


Figura 2.7. Fração de umidade do solo ($\omega = \theta/\theta_s$, adm) sobre a América do Sul segundo a climatologia de Wilmott et al. (1985) nas camadas do modelo SSiB: (a) camada superficial; (b) zona das raízes; (c) zona de drenagem. Os dados estão na resolução espacial T062 do modelo MCGA e são para o dia **19/05**.

2.3. Parâmetros de Vegetação e de Solo

Conforme comentado no item 2.1, a distribuição da vegetação sobre o continente está associada a parâmetros adicionais no modelo de superfície SSiB. Nesse sentido, o modelo requer a prescrição de 22 parâmetros morfológicos e fisiológicos de vegetação e de solo associados a cada bioma

(tipo de vegetação), especificados segundo Dorman e Sellers (1989). A Tabela 2.1 apresenta a especificação de 20 parâmetros morfológicos e fisiológicos de vegetação (13) e do solo (7) para cinco (5) biomas (tipos 1, 6, 8, 9 e 11), cujas ocorrências são verificadas no Brasil. Nesta Tabela não estão sendo especificados os parâmetros relativos à drenagem de água no solo profundo (o parâmetro α de inclinação do solo profundo, o qual é derivado de grandes bacias) e ao albedo à superfície (o qual é diagnosticado no modelo SSiB considerando uma função parábola que depende do ângulo zenital, do estado da cobertura vegetal, da fração de cobertura de neve e de coeficientes prescritos para cada tipo de bioma).

Esse padrão de informações é semelhante para as 13 classes de vegetação existentes no modelo SSiB. A inserção de mais uma classe de vegetação exige a mesma consideração, o que significa dizer que o novo bioma de pastagem degradada (categorizado como o tipo 14) deve seguir este mesmo tratamento. Todavia, o módulo de superfície no modelo MCGA estava configurado para integrações numéricas considerando apenas as 13 classes convencionais. Num trabalho adicional, foram realizadas modificações nos códigos fontes do modelo SSiB, quando acoplado ao modelo atmosférico, para o funcionamento e assimilação do 14^o bioma (pastagem degradada).

TABELA 2.1- Parâmetros de vegetação e de solo prescritos no modelo SSiB para alguns biomas.

Tipo dos Biomas	1	6	8	9	11
I - Parâmetros fixos					
1. B (adm)	7,12	7,12	4,05	4,05	4,05
2. ψ_s (m)	-0,086	-0,086	-0,035	-0,035	-0,035
3. K_s (10^{-4} m)	0,2	0,2	1,76	1,76	1,76
4. θ_s (m^3/m^3)	0,4200	0,4200	0,4352	0,4352	0,4352
5. χ_L (adm)	0,10	0,01	0,01	0,01	0,01
6. Temperatura relativa ao funcionamento dos estômatos (K):					
T_o	303,0	297,0	315,0	315,0	310,0
T_l	273,0	273,0	283,0	283,0	300,0
T_h	318,0	323,0	323,0	323,0	320,0
7. h_s (/mb)	0,0273	0,0357	0,0275	0,0275	0,0000
8. c_1 (adm)	1,20	1,80	1,92	1,39	3,00
9. c_2 (adm)	6,25	5,67	5,61	6,37	6,00
10. Z_{root} (m)	1,0	0,5	0,5	0,5	0,1
11. Profundidade das três camadas de solo (m):					
camada superficial (1ª camada)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
camada das raízes (2ª camada)	1,48	1,48	0,47	0,47	0,17
camada de drenagem (3ª camada)	2,00	2,00	1,00	1,00	0,30
12. Parâmetros para a resistência estomática de uma folha verde (r_s):					
a (J/m^3)	2335,9	56651,2	93989,4	93989,4	1000,0
b (W/m^2)	0,014	10,830	0,010	0,010	1000,000
c (s/m)	153,49	165,00	855,00	855,00	1000,00
II - Parâmetros Sazonais – Média Anual					
13. z_0 (m)	2,65	0,86	0,24	0,06	0,01
14. D (m)	27,37	13,99	2,73	0,11	0,00
15. h_c (m)	35,0	18,0	5,0	0,5	0,1
16. c_d (adm)	285,87	240,98	103,36	22,34	23,76
17. c_b (adm)	5,43	25,89	25,44	44,16	35929,51
18. N_c (adm)	0,90	0,68	0,62	0,67	0,00
19. f_v (adm)	0,98	0,30	0,10	0,10	0,00
20. IAF (m^2/m^2)	5,01	2,45	0,62	0,58	0,00

B : expoente da curva de retenção; ψ_s : potencial de água à saturação; K_s : condutividade hidráulica à saturação; θ_s : porosidade; χ_L : fator de distribuição angular da folha; T_o , T_l , T_h : temperaturas ótima, mínima e máxima para o funcionamento dos estômatos, respectivamente; h_s : parâmetro de resposta à pressão de vapor d'água; c_1 e c_2 : coeficientes da curva fator de ajuste para o déficit de água no solo; Z_{root} : profundidade das raízes; z_0 : comprimento de rugosidade; D : deslocamento do plano zero; h_c : altura do dossel; c_d e c_b : coeficientes das resistências aerodinâmicas r_d e r_b , respectivamente; N_c : fração de folha verde; f_v : fração de área vegetada; IAF : Índice de Área Foliar.

3 MODELO DE CIRCULAÇÃO GERAL DA ATMOSFERA

A versão do modelo MCGA (Panetta et al., 2007) utilizada nas integrações numéricas fornecem a formulação de U e V no que diz respeito ao tratamento nas equações de movimento. Além disso, os termos de advecção estão explícitos nas equações, deixando o modelo pronto para o tratamento Lagrangeano da advecção (informação do parâmetro sobre todo o domínio, num dado instante de tempo), além da formulação atual Euleriana. Trata-se de um modelo espectral cujas físicas do modelo envolve uma orografia de silhueta definida a partir da coordenada vertical sigma (σ), uma solução para a Camada Limite Planetária (Mellor e Yamada, 1982), processos de interação nuvem-radiação (Slingo, 1987) e esquemas de convecção rasa e de grande escala (Tiedke, 1983), convecção profunda (Kuo, 1965; modificada por Anthes, 1977) e de radiações de onda curta (Lacis e Hansen, 1974) e de onda longa (Harshvardhan e Corsetti, 1984). As integrações numéricas foram feitas na resolução espacial T062L28, com truncamento na onda de número 62 e com 28 níveis na vertical.

3.1. Experimentos Numéricos

Foram realizados experimentos numéricos com o MCGA/SSiB a fim de investigar três aspectos na previsão sazonal do clima: i) o impacto das condições iniciais da umidade do solo, item 3.1.1; ii) o impacto da cobertura vegetal, item 3.1.2; iii) impacto de determinados parâmetros de vegetação e de solo, item 3.1.3. Os detalhes das simulações são dados a seguir e em seus respectivos itens.

Ressalta-se que todos os experimentos numéricos foram concentrados na estação de verão austral (o trimestre dezembro, janeiro e fevereiro, DJF) quando ocorrem as principais chuvas no Brasil Central e Sudeste e verifica-se um grande erro sistemático no modelo MCGA/SSiB.

3.1.1. Condições iniciais de umidade do solo

As configurações dos experimentos são apresentadas na Tabela 3.1. As integrações numéricas foram iniciadas no mês de setembro e terminaram em 28 de fevereiro do ano seguinte, o que totaliza seis meses para cada membro de integração do modelo. Cada previsão climática para a estação de verão foi obtida considerando 7 (sete) integrações numéricas, como seja, sete membros, iniciados em dois anos distintos (2002 e 2005). Os membros escolhidos (aleatórios) foram os dias 01, 03, 05, 07, 09, 11 e 13 de setembro de cada ano. A seleção dos anos ocorreu de forma a avaliar a destreza do modelo em capturar uma boa distribuição espacial da precipitação durante a estação de verão, como aquela observada sobre as regiões da Bacia Amazônica (precipitação convectiva) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) durante o verão de 2003 (ver Figuras 4.1, localizadas no centro) e o verão de 2006 (ver Figuras 4.2, no centro).

Os experimentos numéricos foram compostos de 2 (duas) fontes de dados de umidade do solo, a saber:

i) climatológica, segundo a composição de Willmott et al. (1985), cujos valores médios mensais são interpolados para valores diários. Ademais, a distribuição espacial da umidade do solo está em unidades de milímetros (mm) de água no reservatório do solo e são transformados em fração de umidade (adimensional, adm) de acordo com as respectivas propriedades do solo (tais como, porosidade efetiva, profundidade do solo) associadas a cada tipo de cobertura vegetal. Estes dois procedimentos técnicos são normalmente feitos internamente no modelo MCGA/SSiB. No presente, para fins de comparação, foram extraídos os códigos fontes que permitiram o cálculo da fração de umidade do solo em modo “off-line”, como seja, desacoplado do modelo; todavia, ressalta-se que a metodologia empregada para determinar a fração de umidade é representativa de um valor médio para toda a profundidade do solo.

Assim, a fração de umidade do solo é a mesma para as três camadas do modelo de superfície SSiB. Os campos para os dias específicos da integração são apresentados nas Figuras 3.1a-3.1g;

ii) real (GF2006), cujos detalhes foram especificados no item 2.2, nomeado Campos de Umidade do Solo. Os campos diários são apresentados com seguem: Figura 3.2 para a camada superficial, Figura 3.3 para a camada das raízes e Figura 3.4 para a zona de drenagem para os dias 01 - 13/09/2002 (Figuras de a-g); Figura 3.5 para a camada superficial, Figura 3.6 para a camada das raízes e Figura 3.7 para a zona de drenagem para os dias 01 - 13/09/2005 (Figuras de a-g).

A comparação entre a fração de umidade do solo estimada através de dois conjuntos de dados (i e ii) mostra que os campos de umidade do solo provenientes da metodologia de GF2006 apresentam, nas três camadas do modelo para os dois anos em questão, valores mais altos sobre toda a América do Sul, exceto no Uruguai, e uma maior variabilidade diária, principalmente da camada superficial, com relação aos campos climatológicos. Além disso, a fração de umidade do solo aumenta da camada superficial para a zona de drenagem, associada a maiores espessuras das respectivas camadas de solo (ver Tabela 2.2).

Ambos os experimentos foram idênticos, salvo a modificação nos campos iniciais de umidade do solo. Os conjuntos (“ensembles”) de simulações que utilizam a umidade do solo climatológica definem o experimento controle, referenciado como $MCGA_{Ctrl}$; enquanto que os que utilizam a umidade real são referenciados como $MCGA_{U_{solo}}$. Trata-se dos quatro primeiros experimentos listados na Tabela 3.1 (EXP1- EXP4). Vale ressaltar que é usado nas integrações numéricas o mapa de vegetação de controle apresentado na Figura 2.3 (mapa de vegetação da Etapa II).

Foram utilizados os dados de análise provenientes do “National Centers for Environmental Prediction” (NCEP) como condições iniciais atmosféricas¹, das 12 GMT, e de contorno inferior de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), das 00GMT, em todos os experimentos. Os valores de TSM são atualizados pelo modelo a cada 24 horas.

3.1.2. Condição de contorno da cobertura vegetal

Esta etapa foi constituída por dois conjuntos de simulações, cujas bases estiveram associadas principalmente aos mapas de vegetação especificados no item 2.2.2, ambos procedentes da Etapa II: i) o experimento no qual fez-se uso do mapa de vegetação original (Figura 2.3a); ii) o experimento com o mapa de vegetação realística, elaborado pelo projeto PROVEG (Figura 2.3b). Assim, os dois conjuntos de simulações são idênticos, exceto pelo mapa da cobertura vegetal. O conjunto de simulações que utiliza o mapa de vegetação realístico é referenciado como $MCGA_{Proveg}$ e usa a umidade do solo real como condição inicial. Trata-se dos experimentos cinco e seis (EXP5 e EXP6) apresentados na Tabela 3.1. Esses experimentos podem ser comparados com o experimento controle, cuja condição inicial de umidade do solo é a climatológica ($MCGA_{Ctrl}$), bem como com o experimento de umidade do solo real, cuja umidade do solo é a de GF20006 ($MCGA_{Usolo}$); ambos utilizam o mapa de vegetação, conforme descrito anteriormente. Desse modo, pode-se avaliar os efeitos (combinado e isolado) da condição inicial da umidade do solo e do mapa de cobertura vegetal nas simulações de clima.

3.1.3. Modificação nos parâmetros de vegetação e de solo

A fim de verificar o impacto da prescrição dos parâmetros de vegetação e de solo nas previsões sazonais de clima, foram feitos experimentos considerando modificações em alguns parâmetros de vegetação e de solo do modelo de

¹ A partir do ano de 2000 o CPTEC/INPE passou a degradar os dados provenientes do NCEP para a resolução espacial T126L28 do modelo MCGA e, a partir desta base de dados, para a resolução espacial T062L28.

superfície. A configuração básica desses experimentos é aquela apresentada na tabela 3.1 para os experimentos 7 e 8 para o verão de 2003 e o verão de 2006, exp7 e exp8, respectivamente. Igualmente aos experimentos anteriores, o conjunto foi constituído de sete membros com início no mês de setembro do ano que antecede a estação de verão.

Além disso, em cada previsão foi feita alteração nos parâmetros de superfície, conforme especificação na Tabela 3.2. Os EXP7 e EXP8 foram subdivididos em vários experimentos, a depender das modificações efetuadas em cada previsão. No total foram feitas nove (9) simulações: três (3) para o verão de 2003, com os experimentos nomeados MCGA_E2, MCGA_E3 e MCGA_E4; seis (6) para o verão de 2006, com os experimentos MCGA_E4, MCGA_E5, MCGA_E6, MCGA_E7, MCGA_E8, MCGA_E9. As modificações nos parâmetros associadas às classes de vegetação do modelo definiram o nome da previsão. Essas mudanças foram feitas de modo gradativo: inicialmente no experimento MCGA_E2, cujo experimento teve modificado a espessura das camadas do solo, nas zonas de raízes e de drenagem profunda, e a profundidade das raízes no tipo de vegetação de floresta (compare novos valores com os da Tabela 2.1); posteriormente no experimento MCGA_E3, cujo experimento consta das modificações feitas com experimento MCGA_E2 e de mudanças na vegetação de savana; e assim por diante.

A construção desses experimentos teve como base modificações principalmente nos parâmetros pertencentes a quatro classes de vegetação, como sejam: a floresta tropical (tipo 1), a savana (tipo 6), a caatinga (tipo 8), o cultivo agrícola (tipo 12). Essas classes foram escolhidas por serem representativas na América do Sul, conforme discussão no Item 2 e mostrado na Figura 2.3. Além disso, deve-se destacar que os sistemas meteorológicos atuantes sobre as regiões tropical e subtropical durante a estação de verão austral, ocorrem sobre regiões cujas superfícies estão coberta por tais classes de vegetação no modelo. Também, é principalmente sobre a floresta

amazônica, a savana e a caatinga do semi-árido que são verificados erros sistemáticos do MCGA/SSiB abordados nos Itens seguintes. Os novos parâmetros foram escolhidos de modo a favorecer o balanço local de energia à superfície. Assim, para a floresta objetivou-se aumentar a precipitação sobre a região, tendo em vista que o modelo tende a subestimar as precipitações sobre a região (Ver Capítulo 5, erros sistemáticos do modelo). Para tanto, a especificação do parâmetro busca aumentar a convecção úmida através do aumento da energia disponível à superfície, do aumento da evapotranspiração, do aumento das profundidades das camadas do solo e das raízes, bem como, da redução do albedo. Para a caatinga e a savana, cuja precipitação no modelo tende a ser superestimada sobre a região do NEB e Centro-Oeste do Brasil, respectivamente, buscou-se um raciocínio inverso.

TABELA 3.1 - Configuração dos experimentos numéricos realizados com o MCGA/SSiB.

EXP*	Condição Inicial		Vegetação ***	Nome do EXP ****
	Atmosférica	Umidade do Solo**		
1	01, 03, 05, 07, 09, 11 e 13 de setembro de 2002	climatológica	Controle	MCGA _{Ctrl}
2	01, 03, 05, 07, 09, 11 e 13 de setembro de 2005	climatológica	Controle	MCGA _{Ctrl}
3	01, 03, 05, 07, 09, 11 e 13 de setembro de 2002	real	Controle	MCGA _{Usolo}
4	01, 03, 05, 07, 09, 11 e 13 de setembro de 2005	real	Controle	MCGA _{Usolo}
5	01, 03, 05, 07, 09, 11 e 13 de setembro de 2002	real	Proveg	MCGA _{Proveg}
6	01, 03, 05, 07, 09, 11 e 13 de setembro de 2005	real	Proveg	MCGA _{Proveg}
7	01, 03, 05, 07, 09, 11 e 13 de setembro de 2002	real	Proveg	MCGA_E
8	01, 03, 05, 07, 09, 11 e 13 de setembro de 2005	real	Proveg	MCGA_E

* EXP significa Experimento.

** Os campos de umidade do solo climatológicos mensais são interpolados para os respectivos dias da integração numérica, como seja, para os dias 01, 03, 05, 07, 09, 11 e 13 de setembro de cada ano.

*** Mapas da cobertura vegetal apresentados no item 2.2.2, referentes a Etapa II.

**** Os nomes dos experimentos numéricos estão associados somente às condições iniciais e/ou de contorno inferior. Por exemplo, o experimento nomeado MCGA_{Usolo} ocorre nos experimentos de números 3 e 4 relativos as integrações iniciadas no mês de setembro dos anos de 2002 e 2005, respectivamente, com o uso da umidade do solo real na condição inicial.

TABELA 3.2– Especificação dos parâmetros de vegetação e de solo modificados durante os experimentos com o MCGA/SSIB. Cada experimento (EXP) constitui um novo conjunto para os EXP7 (verão de 2003) e EXP8 (verão de 2006) apresentados na Tabela 3.1.

Nome do EXP	Descrição dos novos parâmetros**		
MCGA_E2	Todo o globo, na floresta (tipo 1): zdepth na CR (m): 2,22 zdepth na CD (m): 3,50		
		Zroot (m): 4,0	
MCGA_E3	Todo o globo, na savana (tipo 6): B (adm): 6,00 ψ_s (m): -0,05		
		θ_s (m ³ /m ³): 0,43 K_s (10 ⁻⁴ m): 0,0046	
MCGA_E4	Todo o globo, na floresta (tipo 1): z ₀ (m): 2,35 D (m): 0,86 * h _c	Todo o globo, na Savana (tipo 6) h _c (m): 1,7 z ₀ (m): 0,4	Todo o globo, no Cultivo (tipo 12) h _c (m): 1,0 z ₀ (m): 0,08
	Todo o globo, nas florestas contato (tipo 2-4) h _c (m): 14,9 z ₀ (m): 1,0	Todo o globo, na Caatinga (tipo 8) h _c (m): 1,4 z ₀ (m): 0,4	Todo o globo, exceto na floresta (tipo 2-12) D (m): 2,0/3,0 * h _c
MCGA_E5	Na Savana (tipo 6): zdepth na CR (m): 1,00		
MCGA_E6	Na Savana (tipo 6): zdepth na CR (m): 0,80 zdepth na CD (m): 1,00		
MCGA_E7	Modificação somente sobre o Brasil. A floresta, a savana, a caatinga e o cultivo agrícola do Brasil levam as especificações do EXP MCGA_E6.		
MCGA_E8	Modificação somente sobre a América do Sul. A floresta, a savana, a caatinga e o cultivo agrícola da América do Sul levam as especificações do EXP MCGA_E6.		
MCGA_E9	Modificação somente sobre a América do Sul. Idem ao EXP MCGA_E8 mais alteração nos parâmetros para a resistência estomática de uma folha verde (r _s): a, b e c.		

zdepth: Profundidade das camadas de solo (CS: camada superficial; CR: camada das raízes; CD: camada de drenagem). As demais abreviaturas são idênticas àquelas apresentadas na Tabela 2.1.

** As modificações feitas em cada experimento são utilizadas no experimento seguinte. Por exemplo, o E3 contempla as modificações que foram feitas no E2.

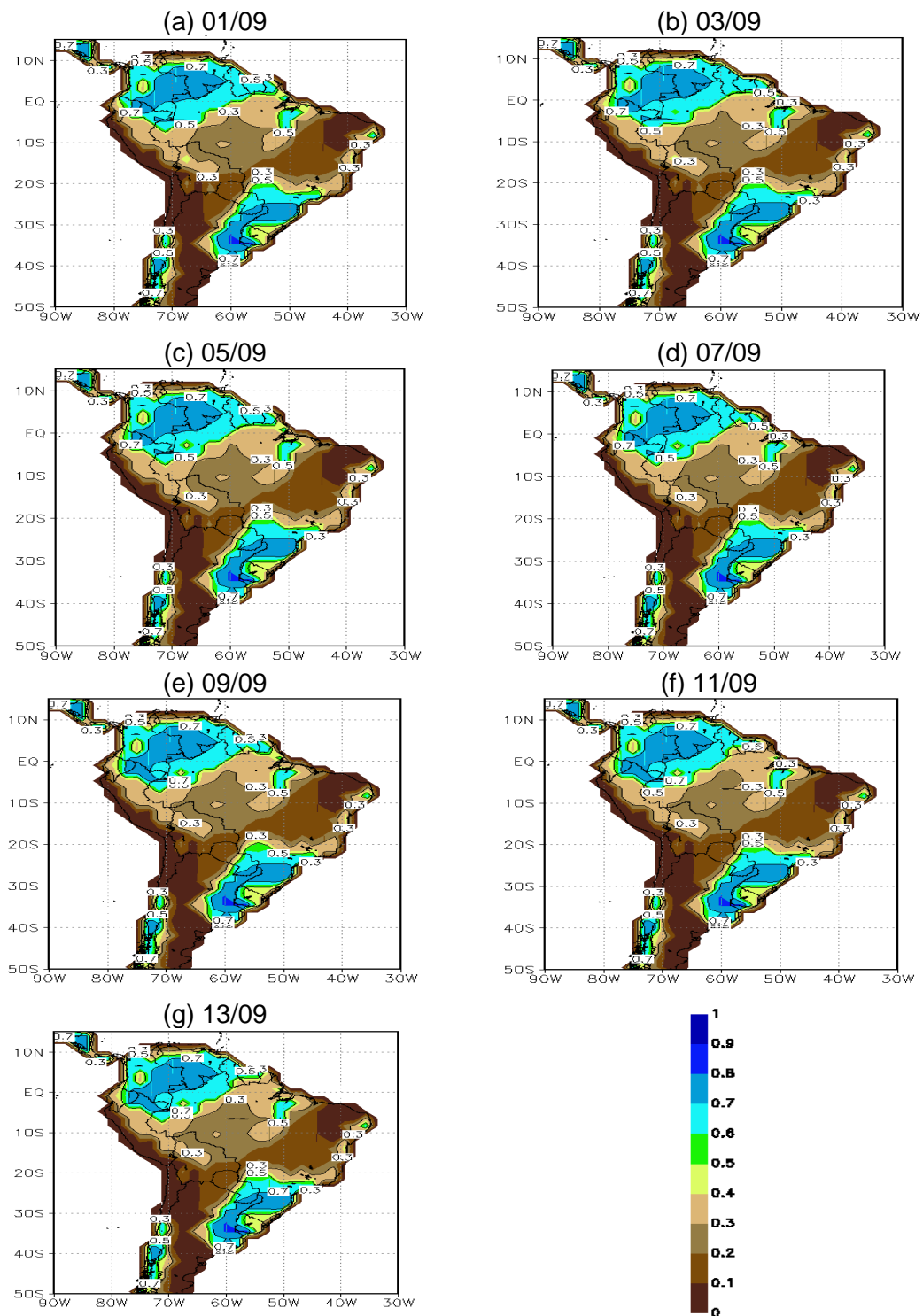


Figura 3.1. Fração de umidade do solo **climatológica** ($\omega = \theta / \theta_s$, adm) sobre a América do Sul no modelo SSiB para os dias **01-13/09**. Os dados estão na resolução espacial T062 do modelo MCGA. Os campos são iguais para as 3 camadas do solo.

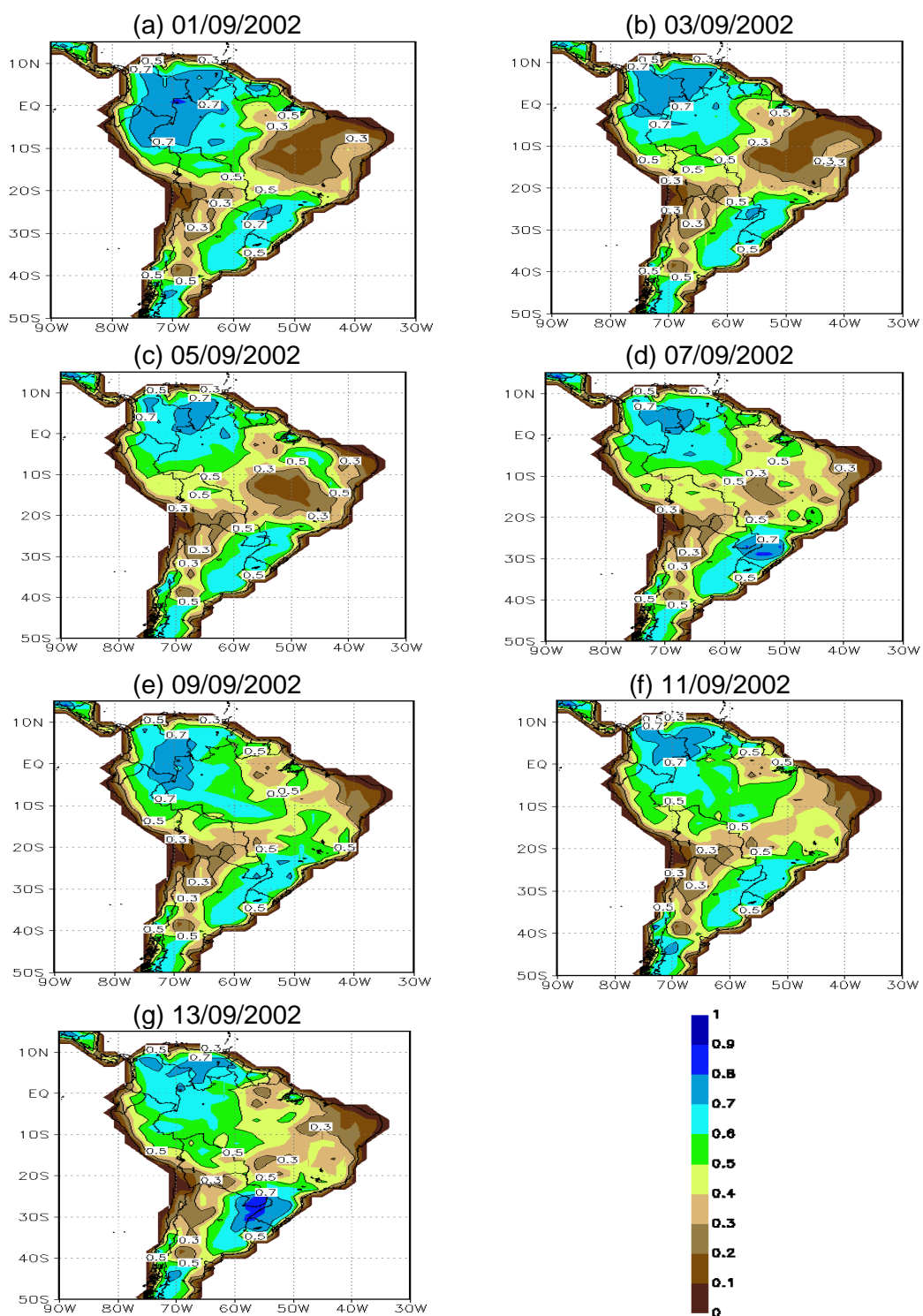


Figura 3.2. Fração de umidade do solo ($w = \theta/\theta_s$, adm) sobre a América do Sul na **camada superficial** do modelo SSiB para os dias **01-13/09/2002**. Os dados estão na resolução espacial T062 do modelo MCGA. Fonte de dados: GF2006.

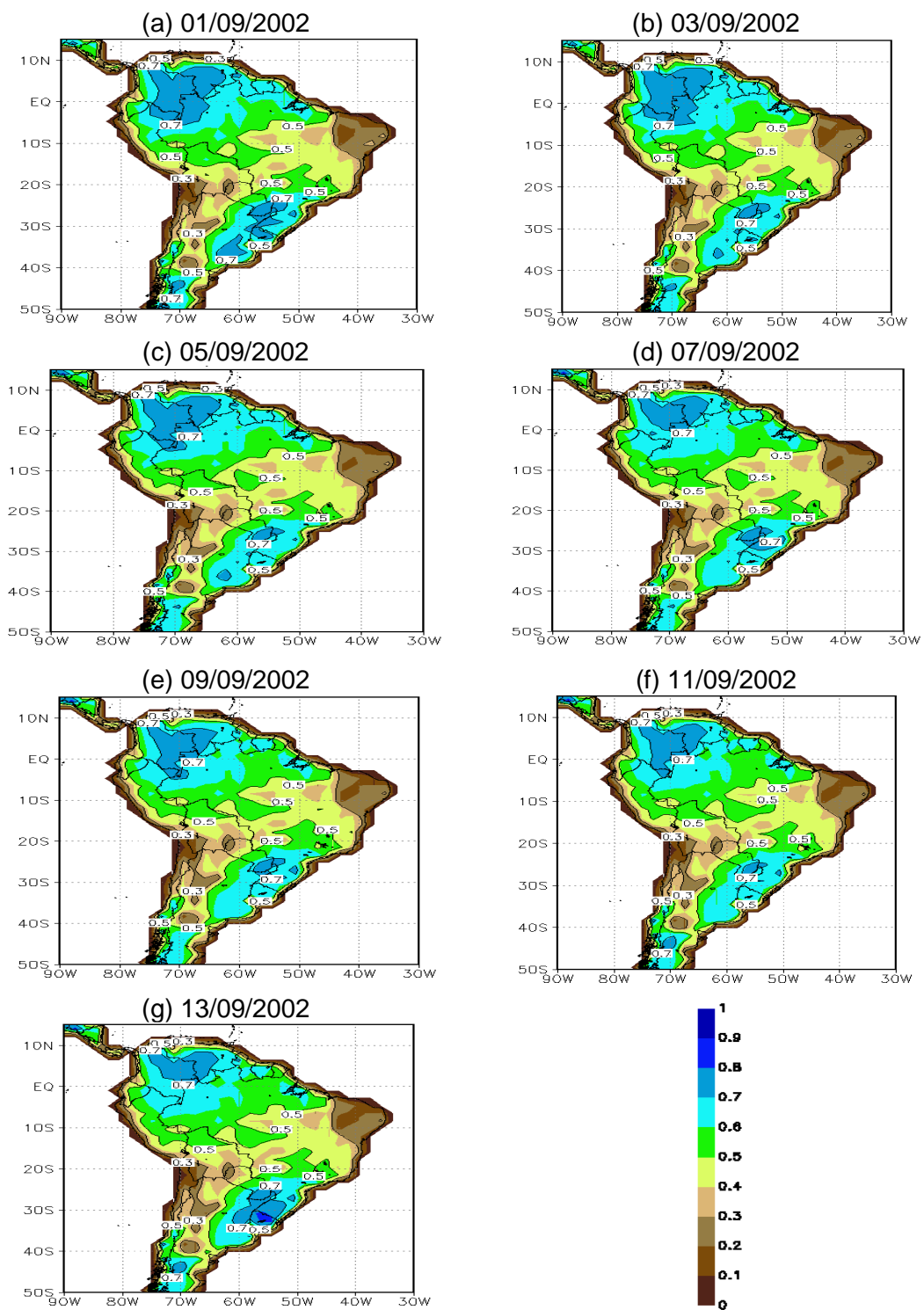


Figura 3.3. Idem a Figura 3.2 para a zona das raízes.

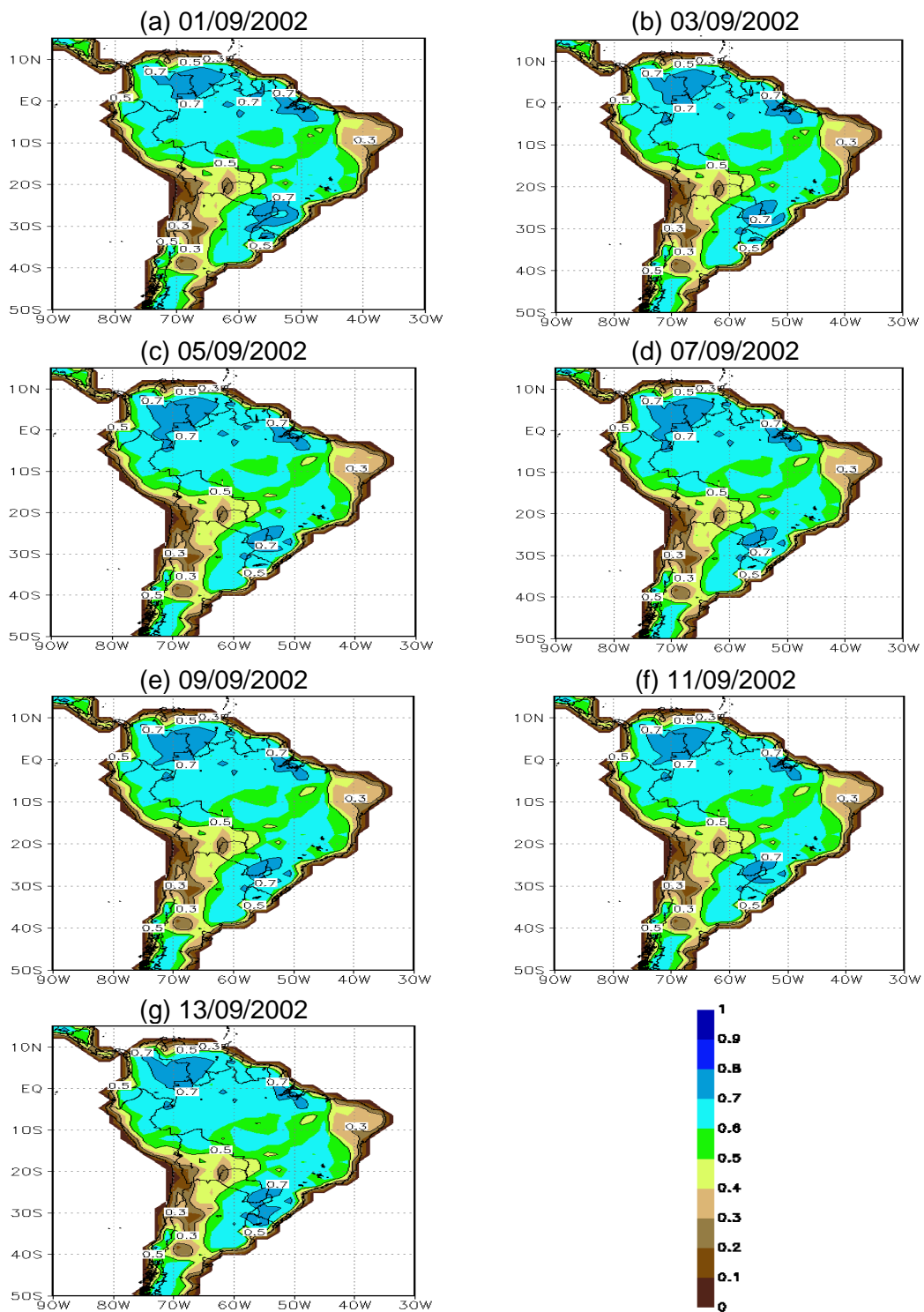


Figura 3.4. Idem a Figura 3.2 para a zona de drenagem.

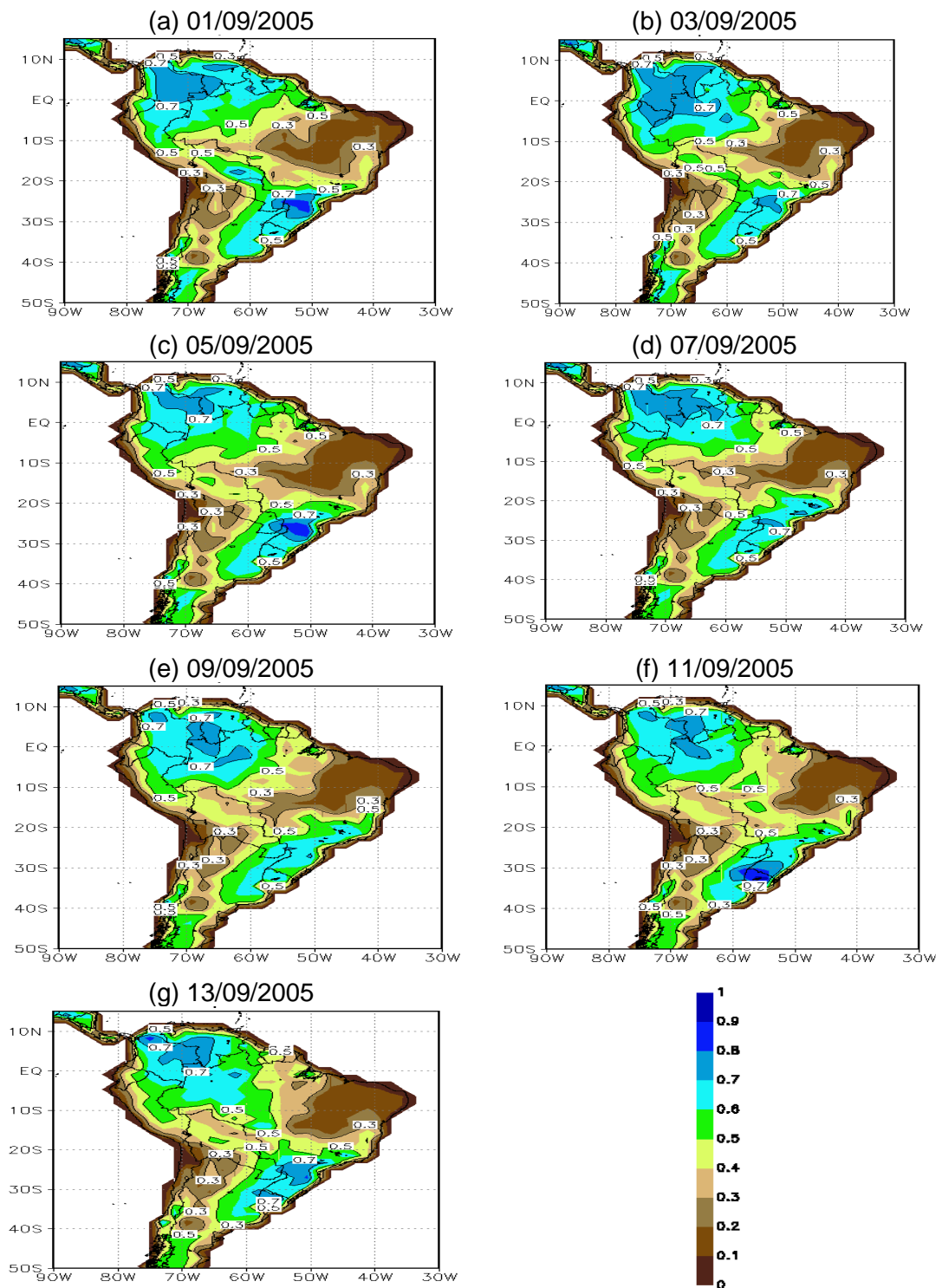


Figura 3.5. Fração de umidade do solo ($\omega = \theta/\theta_s$, adm) sobre a América do Sul na **camada superficial** do modelo SSiB para os dias **01-13/09/2005**. Os dados estão na resolução espacial T062 do modelo MCGA. Fonte de dados: GF2006.

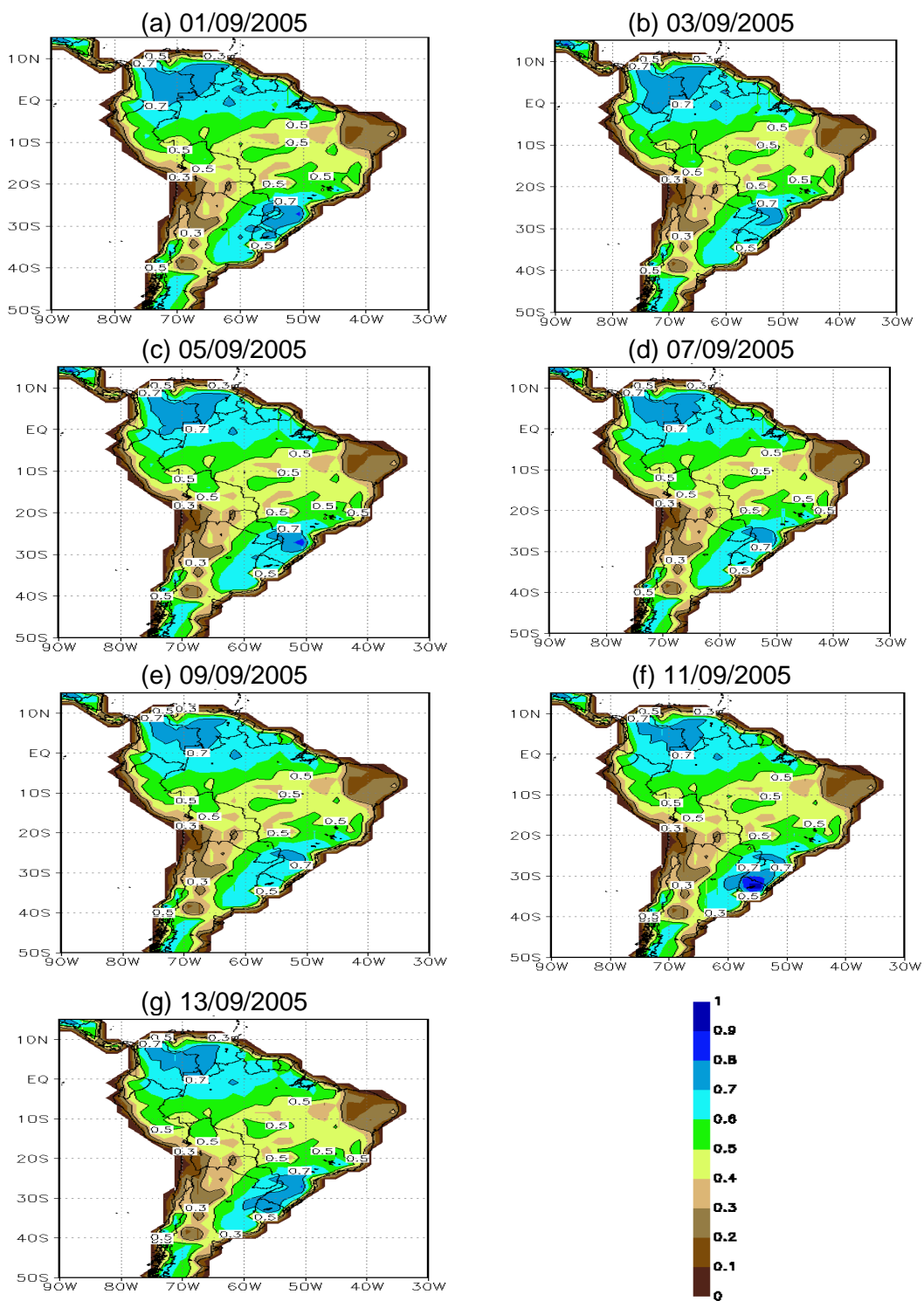


Figura 3.6. Idem a Figura 3.5 para a zona das raízes.

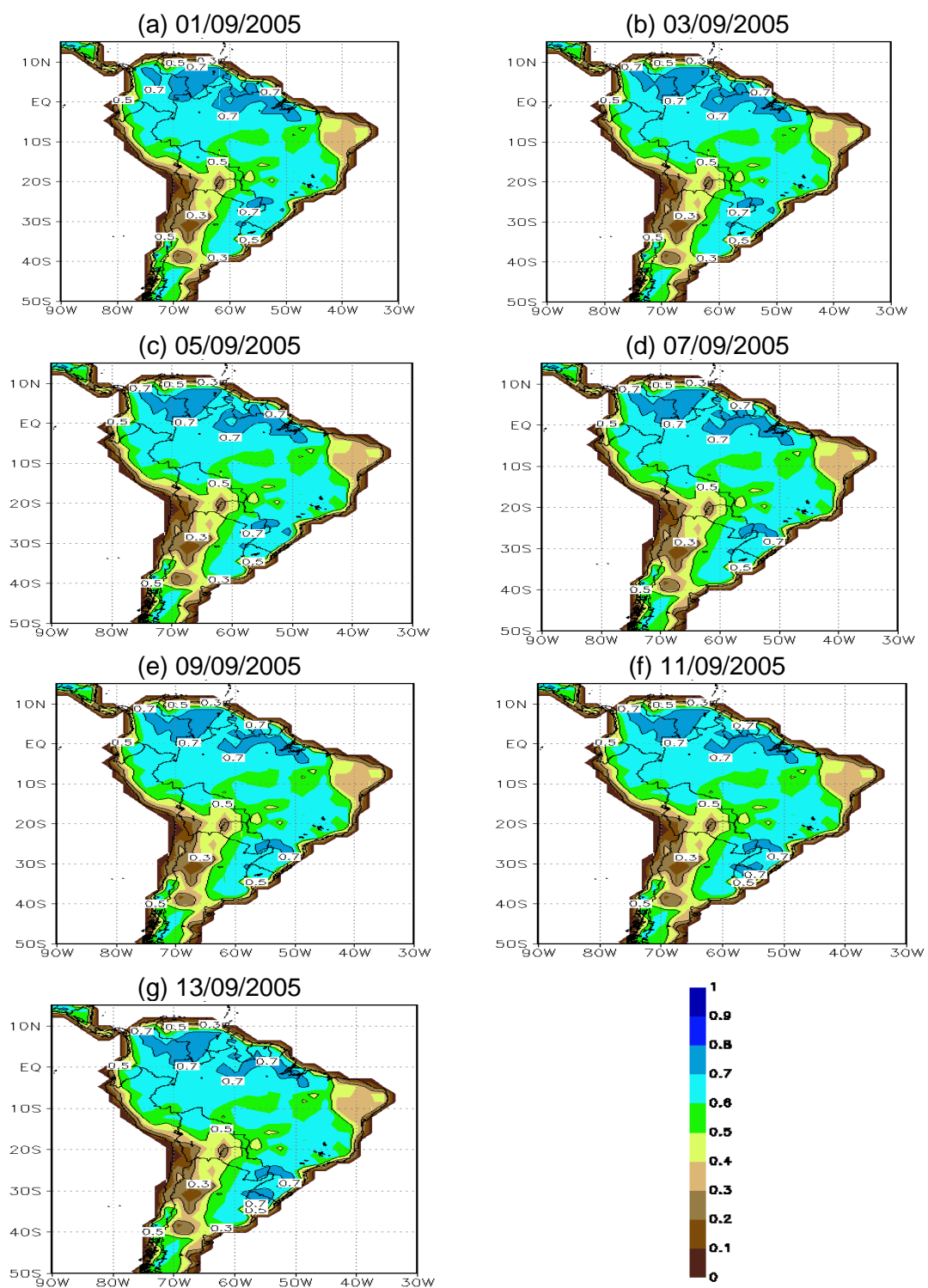


Figura 3.7. Idem a Figura 3.5 para a zona de drenagem.

4 PREVISÃO SAOZNAL DO CLIMA

Antes de avaliar o impacto da alteração da condição inicial e/ou de contorno inferior na previsão sazonal do clima obtida pelo modelo MCGA/SSiB, é apresentado alguns aspectos pertinentes a destreza do modelo na caracterização do clima sobre a América do Sul. A análise é feita com base na avaliação da precipitação e do padrão de circulação atmosférico em baixos e altos níveis previstos pelo modelo.

As previsões sazonais do clima (simulações de controle) do modelo MCGA/SSiB, MCGACtrl, foram comparadas com dados observados de precipitação, disponíveis no CPTEC e provenientes do CMAP – *CPC Merged Analysis of Precipitation* (Xie e Arkin, 1997) e do GPCP - *Global Precipitation Climatology Projec*” (Adler et al, 2003), e dados atmosféricos, de análise do NCEP, para o período das simulações. A base de dados de precipitação do CPTEC é composta por séries históricas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), do Instituto Tecnológico SIMEPAR (antiga sigla de Sistema Meteorológico do Paraná), do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)

4.1. Erros sistemáticos na precipitação

As Figuras 4.1 e 4.2 mostram a distribuição espacial da precipitação observada, bem como a precipitação de verão simulada pelo modelo para o verão de 2003 e o verão de 2006, respectivamente. Conforme comentado anteriormente, os anos selecionados apresentam uma distribuição espacial característica da estação de verão, com valores de precipitação observada mais altos sobre as regiões sob a influência das ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e da ZCAS, com a presença da precipitação convectiva sobre a região Amazônica.

A comparação entre os campos observados e os previstos mostra que o modelo tende a superestimar a precipitação sobre a América do Sul, principalmente nas regiões que estão associadas aos eventos de grande escala ZCIT e ZCAS, e a subestimar a precipitação nas regiões no interior do continente cujas precipitações são de origem convectiva, incluindo as regiões amazônica, noroeste do NEB, sul do Brasil e vizinhanças do Uruguai. Essas diferenças estão associadas aos erros sistemáticos do modelo, conforme assinalados por Cavalcanti et al. (2002). O clima previsto é representativo do “ensemble” médio, composto pelos sete membros (com início em 01-13/setembro de cada ano), e a análise entre membros (Figura 4.3) indica que os resultados são representativos sobre a América do Sul, exceto sobre a região das ZCAS, visto que esta sofre influência de transientes (como a frente fria). Como consequência, a região é caracterizada por uma variabilidade diária a qual é proporcional à área de alcance do sistema (dependendo do evento, a frente fria pode ou não atingir o sul do NEB).

A região da ZCIT também apresenta uma variabilidade entre os membros, porém com amplitudes menores ($< 2,0$ mm/dia). Vale ressaltar que a baixa variabilidade entre os membros sobre a região Amazônica indica que todos os membros levam a subestimativa de precipitação pelo MCGA/SSiB; como seja, reforça a deficiência do modelo em representar a precipitação convectiva sobre a região tropical. A dispersão entre os membros também foi verificada sobre os Andes, entre 30°S e 10°S , onde a representação da silhueta orográfica no modelo atinge valores mais elevados (acima de 2000 m).

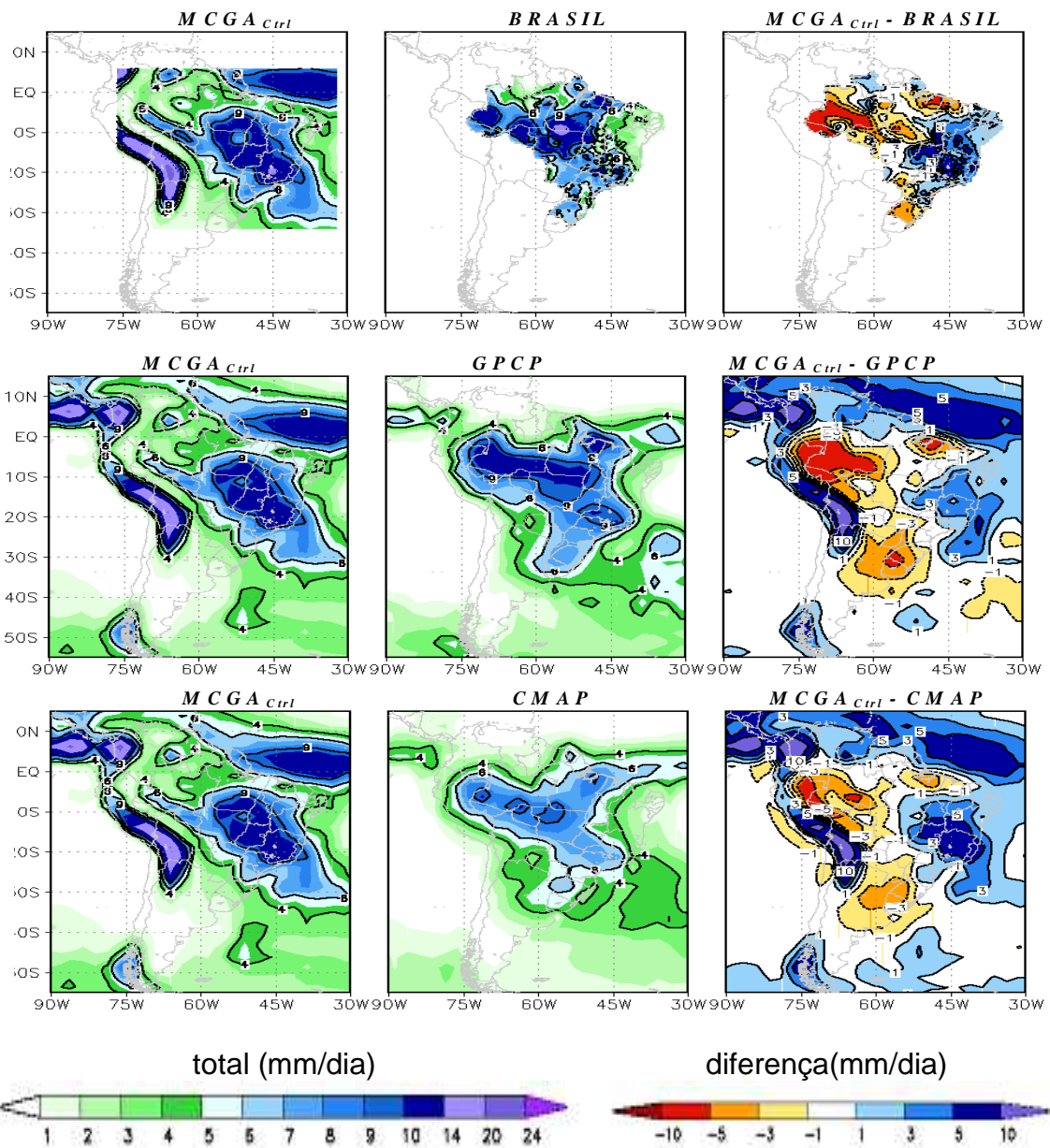


Figura 4.1. Precipitação observada média diária (mm/dia) em DJF/2003. BRASIL representa a base de dados disponível no CPTEC/INPE. Os dados estão na resolução do MCGA.

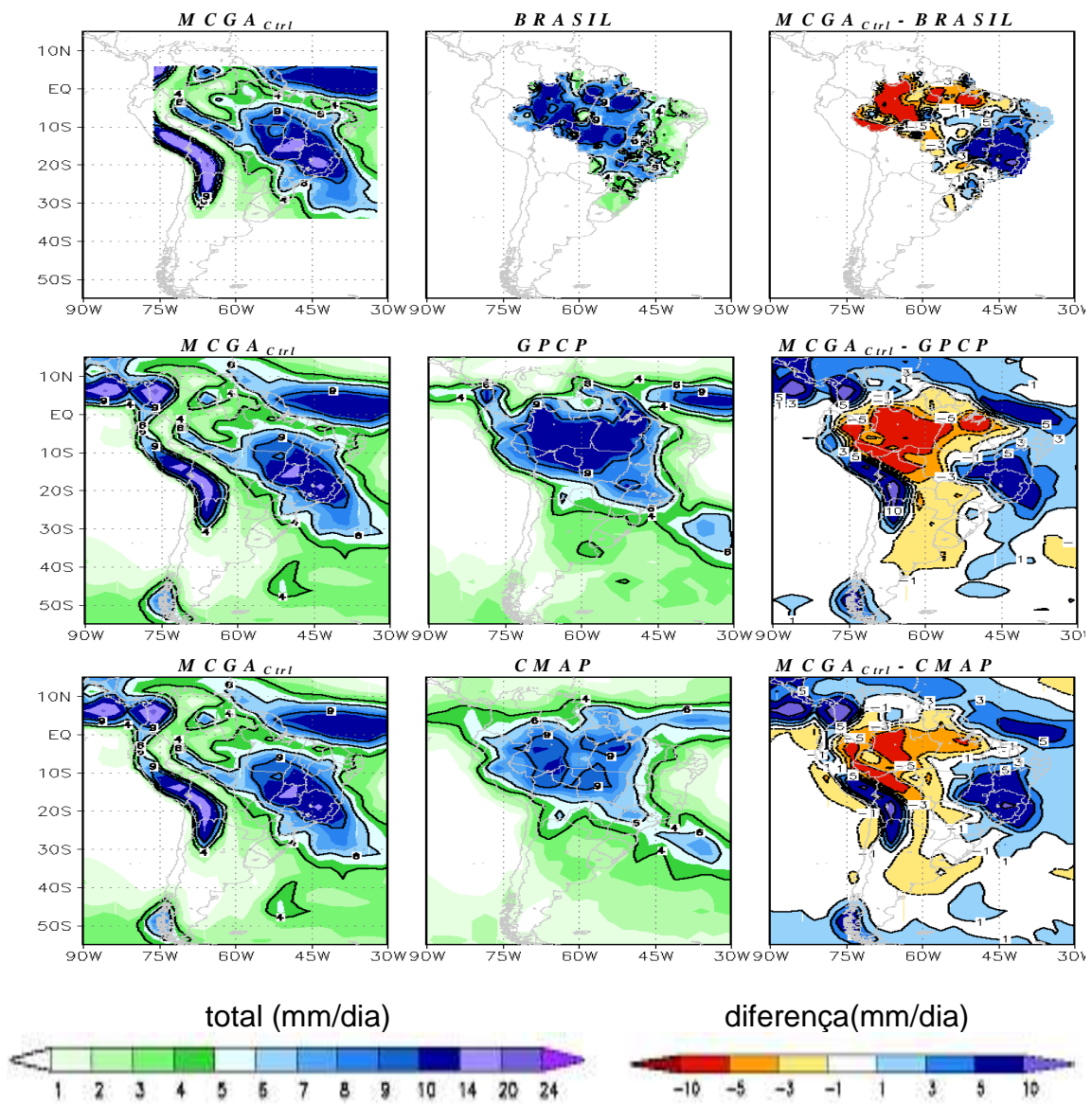


Figura 4.2. Precipitação observada média diária (mm/dia) em DJF/2006. BRASIL representa a base de dados disponível no CPTEC/INPE. Os dados estão na resolução do MCGA.

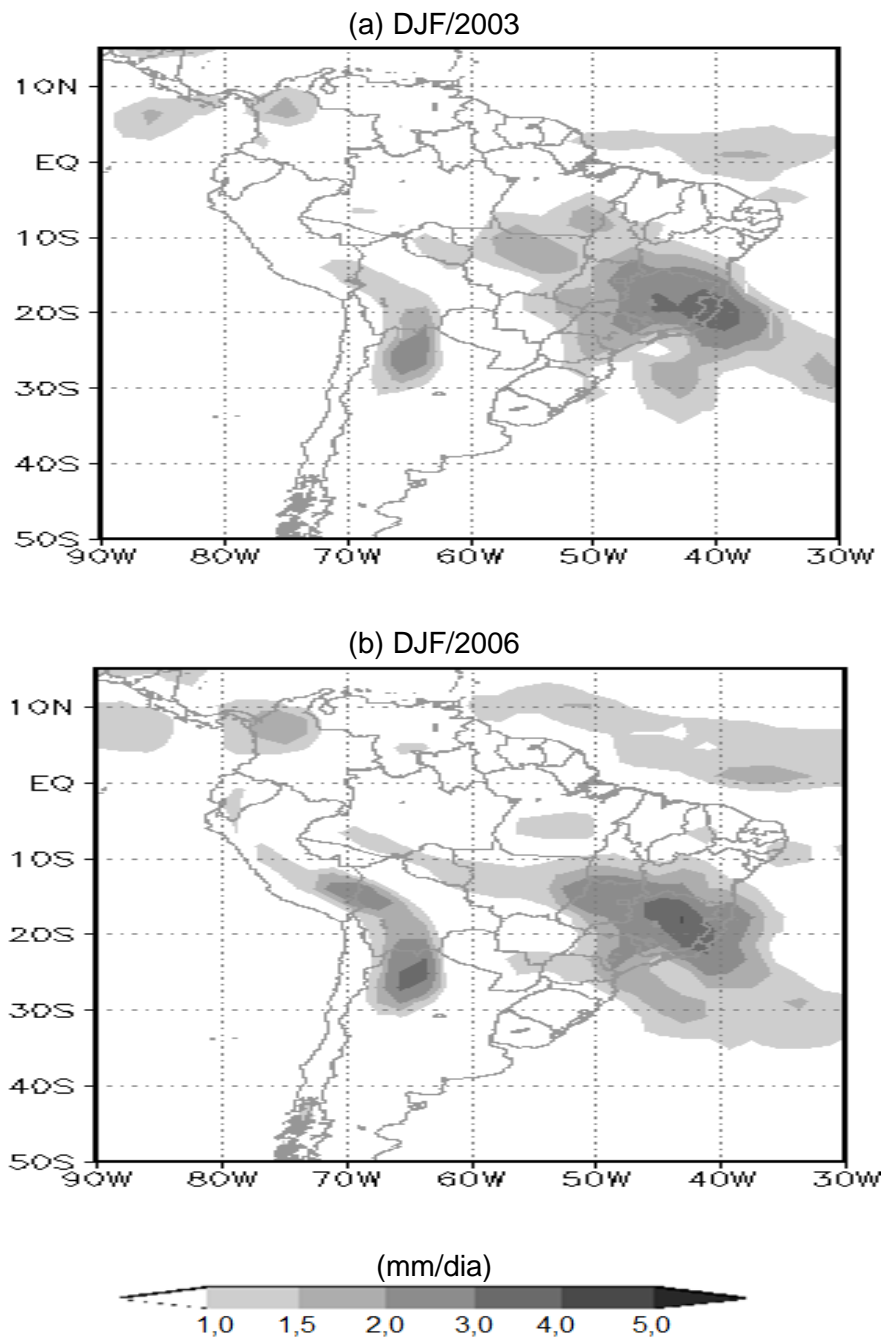


Figura 4.3. Desvio padrão da precipitação média diária (mm/dia) em DJF/2003 (a) e DJF/2006 (b) obtido através dos sete membros integração com o MCGA/SSiB. Valores altos indicam região de maior dispersão entre os membros.

4.2. Padrões de circulação atmosférica

As Figuras 4.4 e 4.5 mostram os campos atmosféricos durante a estação de verão dos anos de 2003 e de 2006, obtidas através das análises provenientes do NCEP e das previsões com o MCGA/SSiB. As principais circulações atmosféricas são capturadas pelo modelo nos dois anos; todavia, com diferenças no posicionamento e intensidade dos sistemas. Em baixos níveis, em 850 mb, os campos de Pressão reduzida ao Nível Médio do Mar (PNMM) observado e previsto mostram que as Altas Subtropicais do Atlântico Sul (AAS) estão mais intensas e mais próximas do continente. Além disso, verifica-se um deslocamento das Altas subtropicais sobre o Atlântico Norte (AAN) e Sul (AAS) para a direção sul. A Alta subtropical do Pacífico Sul é mais intensa, enquanto que a Baixa do Chaco (baixa térmica) parece ser melhor representada no modelo do que nas análises do NCEP, uma vez que o sistema não parece visível nos dados observados.

O escoamento horizontal está em concordância com o posicionamento das AAS, com a confluência dos ventos no continente em direção a Baixa do Chaco; na análise do NCEP isso não se verifica durante o verão de 2003. Ademais, os ventos alíseos (a componente nordeste sobre a costa norte do Brasil) previstos pelo modelo estão mais intensos. Em altos níveis, a Alta da Bolívia (associada à Baixa do Chaco em baixos níveis) está posicionada mais ao sul e o Vórtice Ciclônico de Altos níveis (VCAN) está mais intenso e mais próximo do continente. Esta configuração prevista favorece a precipitação mais baixa sobre a AMZ e mais alta sobre o leste do NEB. Os jatos subtropicais estão mais intensos do que os observados na análise.

Sobre a região das ZCAS, no modelo, o campo de umidade específica em baixos níveis está em concordância com o de precipitação, muito embora os valores máximos de precipitação estejam localizados mais próximos à costa sudeste do Brasil enquanto que os valores máximos de umidade específica

estão centrados nas vizinhanças dos Estados de Mato Grosso e de Goiás (Brasil) distribuídos numa banda meridional característica da zona de convergência. Na observação, verifica-se que valores altos de umidade (> 12 g/kg) estão posicionados próximos à costa norte do Brasil e que estes estão em concordância com um centro de máxima no fluxo horizontal de umidade específica cujos valores superam os 100 g/kg. Esse centro de máximos valores é proveniente da atuação da ZCIT, que efetuou o transporte da umidade atmosférica sobre os oceanos para continente através da ação dos ventos alíseos. Todavia, o campo de fluxo de umidade obtido através do modelo não indica a existência dos valores máximos na costa norte do país, pois o fluxo de umidade é distribuído e em direção à região do NEB, onde atinge latitudes mais altas até a região das ZCAS. Esta configuração no modelo está associada ao posicionamento das AAs (mais ao sul e mais próxima do continente) e a intensidade e inclinação dos ventos alíseos (mais intensos) sobre a costa do NEB e ambos corroboram para valores de precipitação mais baixos sobre AMZ e mais alto sobre o NEB e na região da ZCAS.

A distribuição espacial da temperatura em 850 hPa confirma a superestimativa da Baixa do Chaco, ou seja, o centro de máxima temperatura atinge uma área bem maior no modelo do que na observação. De fato, a Baixa do Chaco foi bem caracterizada no modelo e apresenta um centro de pressão atmosférica em torno dos 1008 mb com uma temperatura de 20 °C, enquanto que na observação isso não se verifica. A Baixa do Chaco mais intensa e a Alta da Bolívia posicionada mais ao sul indicam a existência de atividade convectiva sobre o continente durante o verão; todavia, a região Sudeste do país parece que está sendo mais beneficiada do que a região Amazônica tendo em vista o total pluviométrico superior.

A avaliação sobre a estrutura vertical da atmosfera mostra que as regiões em que a precipitação foi subestimada pelo modelo estão sob influência de movimentos subsidentes (Figura 4.6), cujo impacto direto é o de inibir a

formação de nuvens e, por conseguinte, precipitação. Isso foi verificado durante o verão de 2003 (Figura 4.6) e o verão de 2006 (não mostrado). Para a região onde ocorreu superestimativa da precipitação, os movimentos foram ascendentes. Assim, verificaram-se movimentos subsidentes (valores positivos de ω) sobre as regiões da AMZ (noroeste da região) e Sul do Brasil; movimentos ascendentes (valores negativos de ω) sobre as regiões NEB e Centro-Oeste e Sudeste e do Brasil. Em concordância, os movimentos subsidentes (ascendentes) estão associados a valores mais altos (baixos) de pressão à superfície. Observe com o auxílio do perfil de umidade específica que a coluna atmosférica permanece umedecida mesmo sobre a influência de subsidência nas regiões Sul e da AMZ, o que indica que este parâmetro não foi decisivo nos baixos valores de precipitação e que a superfície nessas regiões é fonte de umidade para a atmosfera. De outro modo, indica que a umidade sobre a AMZ está sendo levada para outra região (ZCAS) devido à subsidência e ao escoamento (com componente de leste) em baixos níveis.

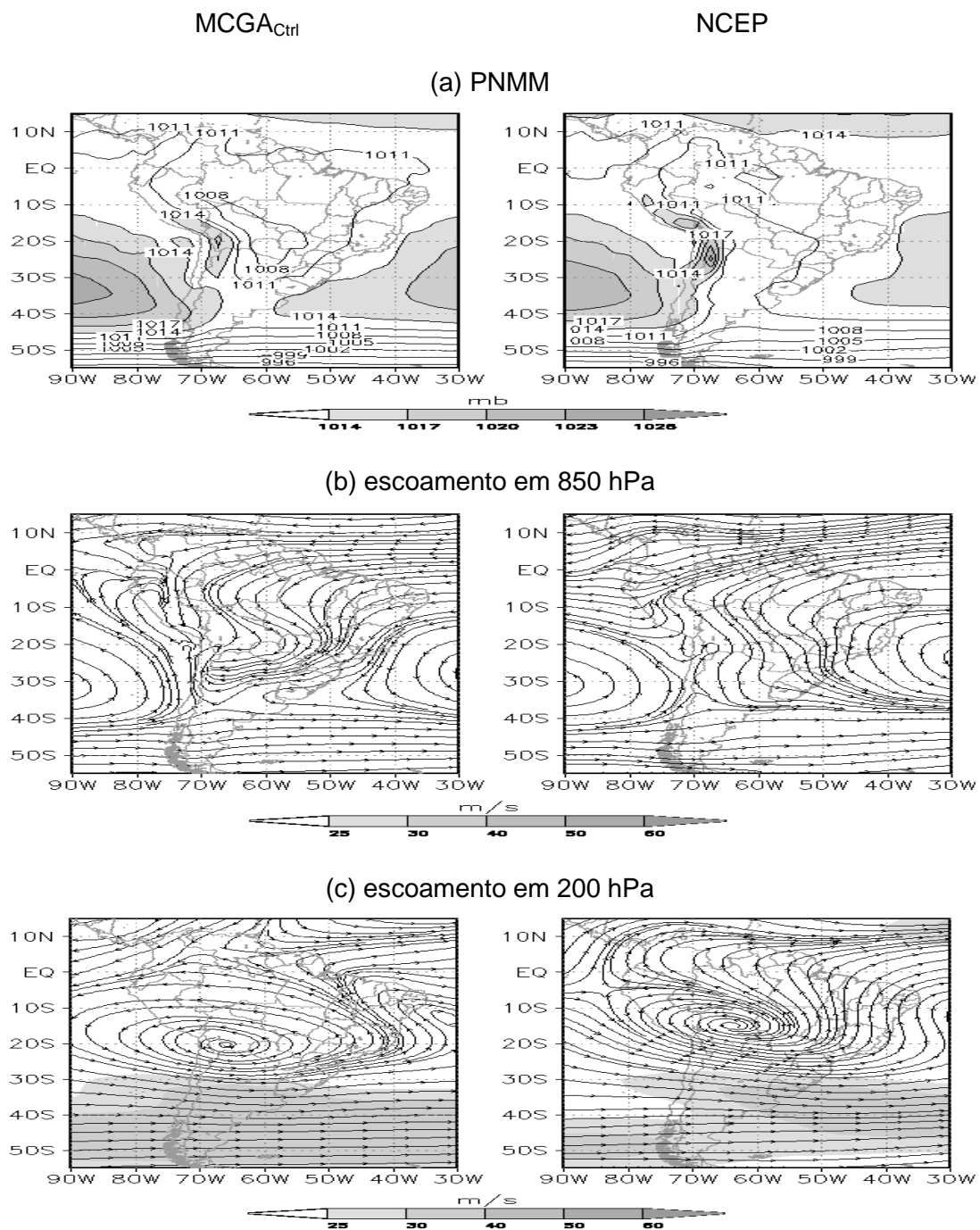
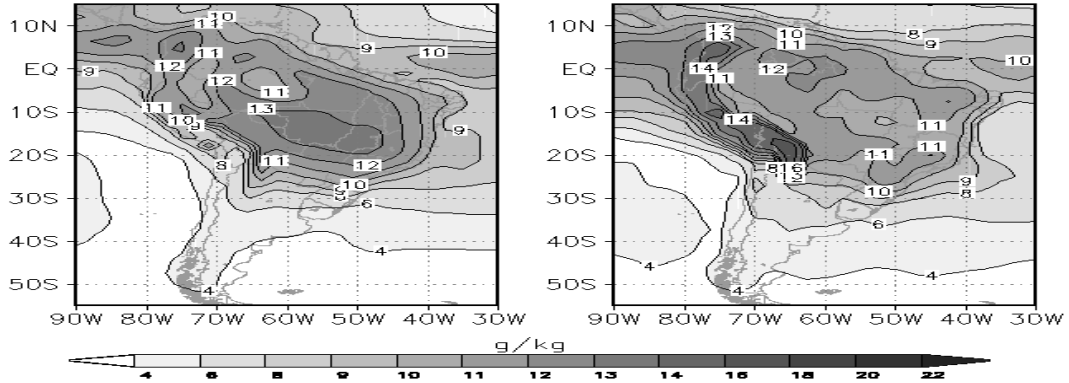


Figura 4.4. Distribuição espacial média durante DJF/2003 obtida através do modelo MCGA (à esquerda) e do NCEP (à direita): (a) PNMM (hPa); (b) escoamento do vento em 850 hPa (m/s); (c) escoamento do vento em 200 hPa (m/s); (d) umidade específica em 850 hPa (g/kg); (e) fluxo horizontal de umidade específica em 850 hPa (g/kg); (f) temperatura do ar em 850 hPa (g/kg). (continua).

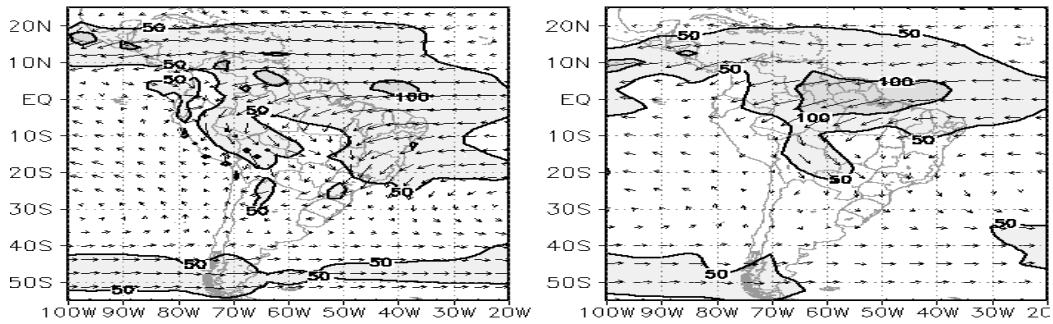
MCGA_{Ctrl}

NCEP

(d) umidade específica em 850 hPa



(e) fluxo de umidade e intensidade em 850 hPa



(f) temperatura em 850 hPa

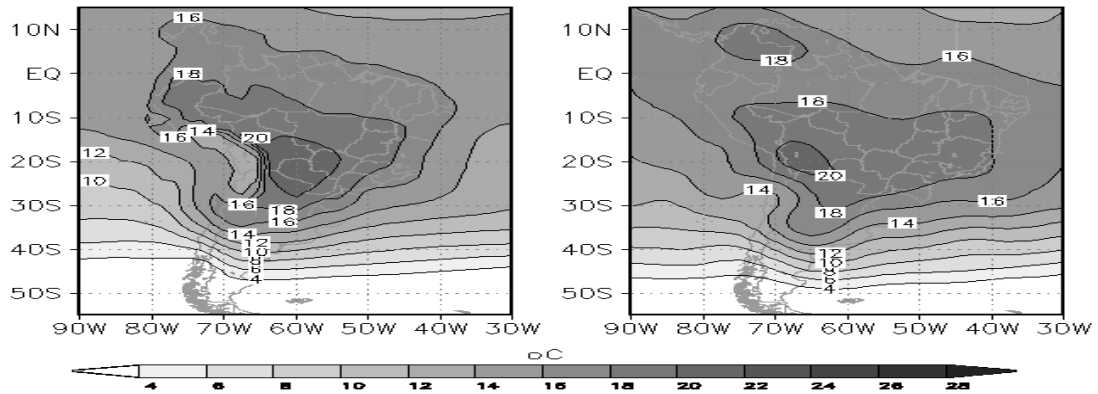


Figura 4.4. Conclusão.

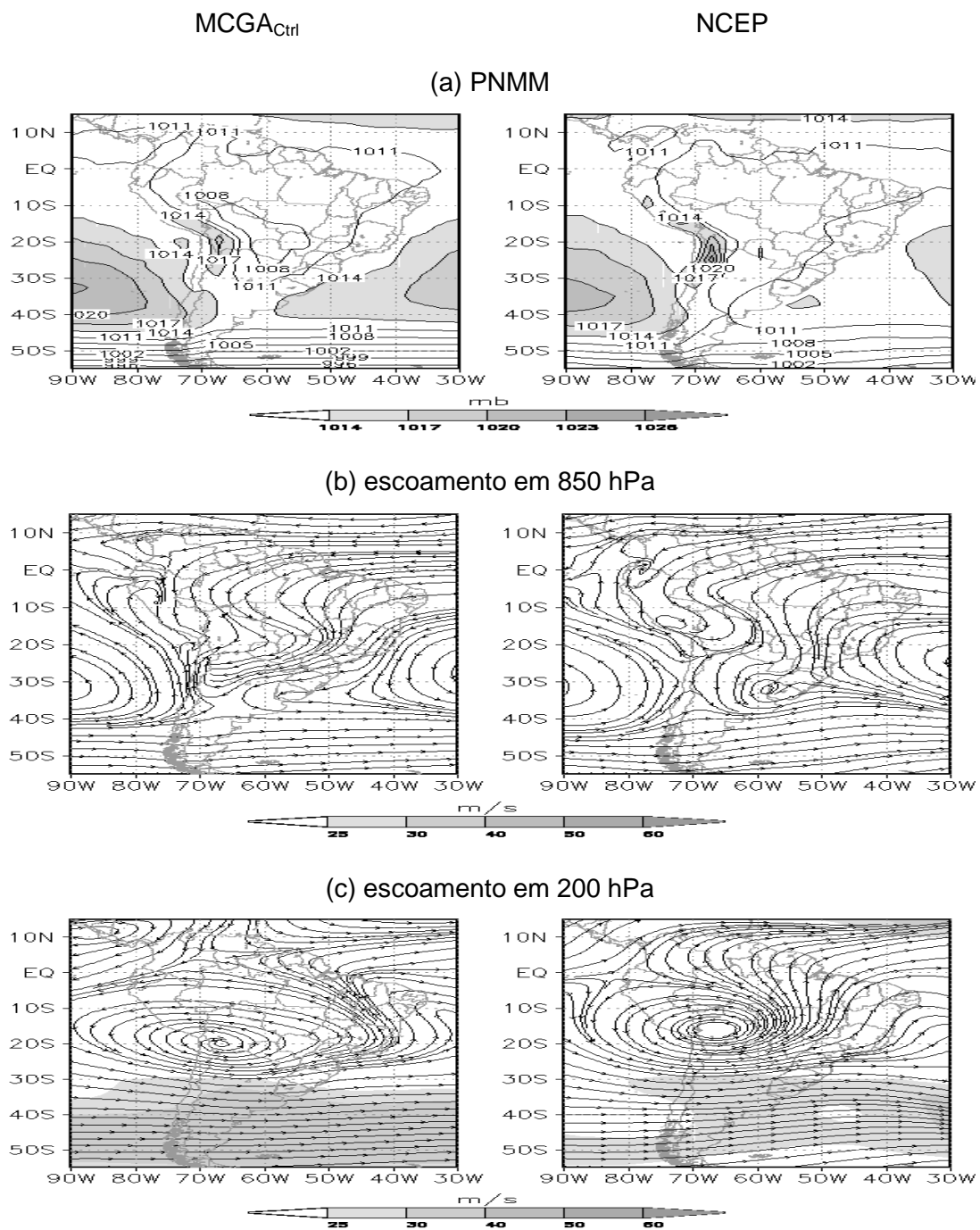
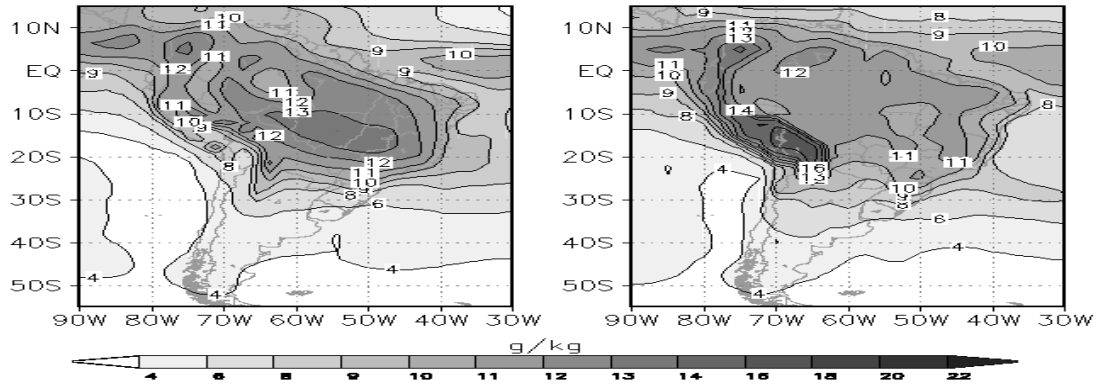


Figura 4.5. Distribuição espacial média durante DJF/2006 obtida através do modelo MCGA (à esquerda) e do NCEP (à direita): (a) PNMM (hPa); (b) escoamento do vento em 850 hPa (m/s); (c) escoamento do vento em 200 hPa (m/s); (d) umidade específica em 850 hPa (g/kg); (e) fluxo horizontal de umidade específica em 850 hPa (g/kg); (f) temperatura do ar em 850 hPa (g/kg) (continua).

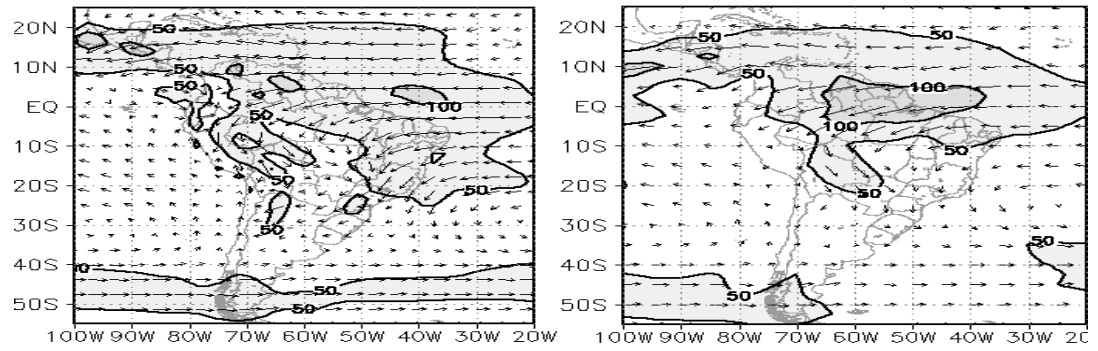
MCGA_{Ctrl}

NCEP

(d) umidade específica em 850 hPa



(e) fluxo de umidade e intensidade em 850 hPa



(f) temperatura em 850 hPa

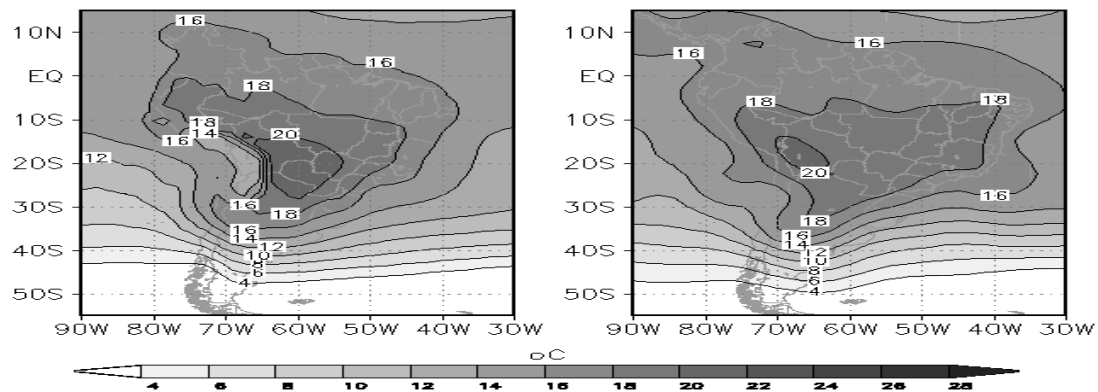


Figura 4.5. Conclusão.

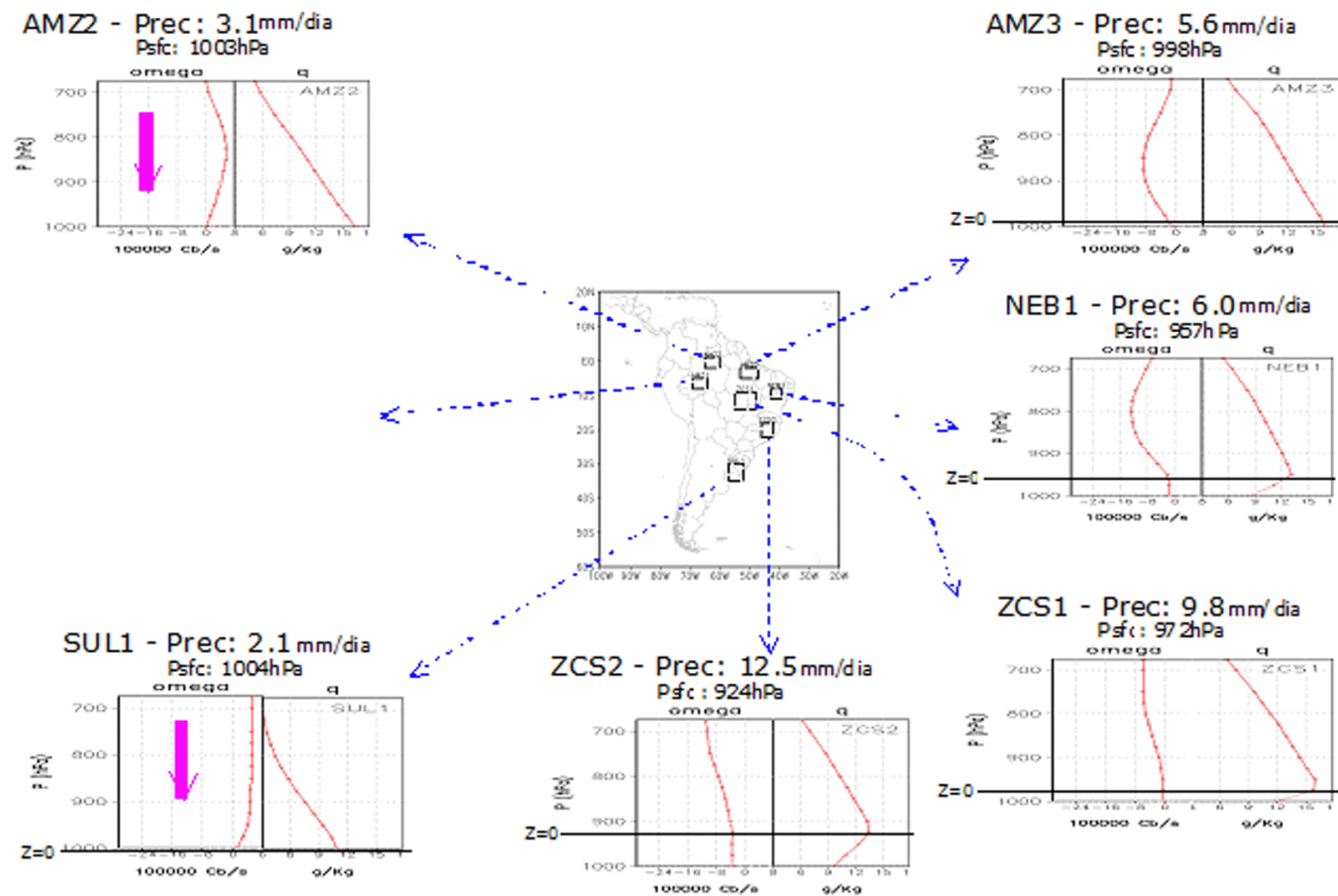


Figura 4.6. Perfil vertical de ω (10^5 cb/s) e de umidade específica (g/kg) durante DJF/2003 obtida através do modelo MCGA_{Ctrl}. Para cada retângulo selecionado, é indicado o nome da sub-região e os valores de precipitação (Prec, em mm/dia) e de pressão atmosférica à superfície (P_{sf}, em hPa) médios sobre a área. A seta grossa (rosa) nas regiões AMZ2 e SUL1 indicam movimentos subsidentes. A linha horizontal Z=0 representa o nível da superfície.

5. IMPACTOS NA PREVISÃO DO CLIMA

Este item contém os resultados e discussões obtidos através das integrações numéricas realizadas como o modelo MCGA/SSiB para verificar os impactos nas simulações do clima de verão sobre a América do Sul. No item 5.1, é avaliado a introdução de condições iniciais de umidade do solo mais próximas as observadas. No item 5.2, é abordado a condição de contorno inferior no modelo global associada à caracterização da classe de cobertura vegetal em cada ponto de grade do modelo. Além disso, são mostrados os impactos da cobertura vegetal, associado ou não a uma mudança na condição inicial de umidade do solo. No item 5.3, verifica-se o impacto da introdução de modificações nos parâmetros de superfície e de solo prescritos no modelo de superfície. Os detalhes dos experimentos numéricos os quais conduziram aos resultados apontados nos itens 5.1, 5.2 e 5.3 estão descritos nos itens 3.1.1, 3.1.2 e 3.1.3 (item 3), respectivamente.

5.1. Impacto das condições iniciais da umidade do solo

As Figuras 5.1 e 5.3 apresentam a distribuição espacial da precipitação durante o verão de 2003 e o verão de 2006 sobre a América do Sul. Em ambos os anos, a precipitação obtida através do modelo ainda apresenta erros de estimativa mesmo após a inserção de condições iniciais de umidade do solo mais próximas a valores observacionais. As diferenças entre a precipitação observada e a diagnosticada com a nova descrição da umidade do solo ($MCGA_{U_{solo}}$) permanecem semelhantes àquelas verificadas com o experimento de controle ($MCGA_{Ctrl}$). Como sejam: superestimativa de precipitação na região da ZCAS, ZICT e NEB e subestimativa nas regiões AMZ e Sul do Brasil.

Durante o verão de 2003 os erros são agravados principalmente na ZCAS e da ZCIT (Figura 5.2). Todavia, percebe-se uma redução do erro na parte central do continente. A região AMZ tem seu erro aumentado como consequência do

aumento de precipitação na ZCAS, o que significa dizer que o fornecimento de valores mais altos de umidade do solo (compare Figura 3.1 com Figuras 3.2 - 3.4) no primeiro passo de tempo de integração do modelo, principalmente na região da ZCAS, favoreceu a precipitação sobre a região, o que é normalmente esperado como um efeito local. A região AMZ teve uma redução de 1,0 mm/dia com relação ao experimento de controle. Durante o verão de 2006 (Figura 5.4), ao contrário, verifica-se pequena redução da superestimativa na região da ZCAS (Estado de MG) e da subestimativa na costa do Estado do PA. Ressalta-se que, em ambos os anos, o maior impacto da condição inicial da umidade do solo no modelo foi verificado na região tropical e até a faixa de latitude de 30°S sobre a América do Sul, principalmente sobre as regiões onde os erros sistemáticos do modelo são significativos.

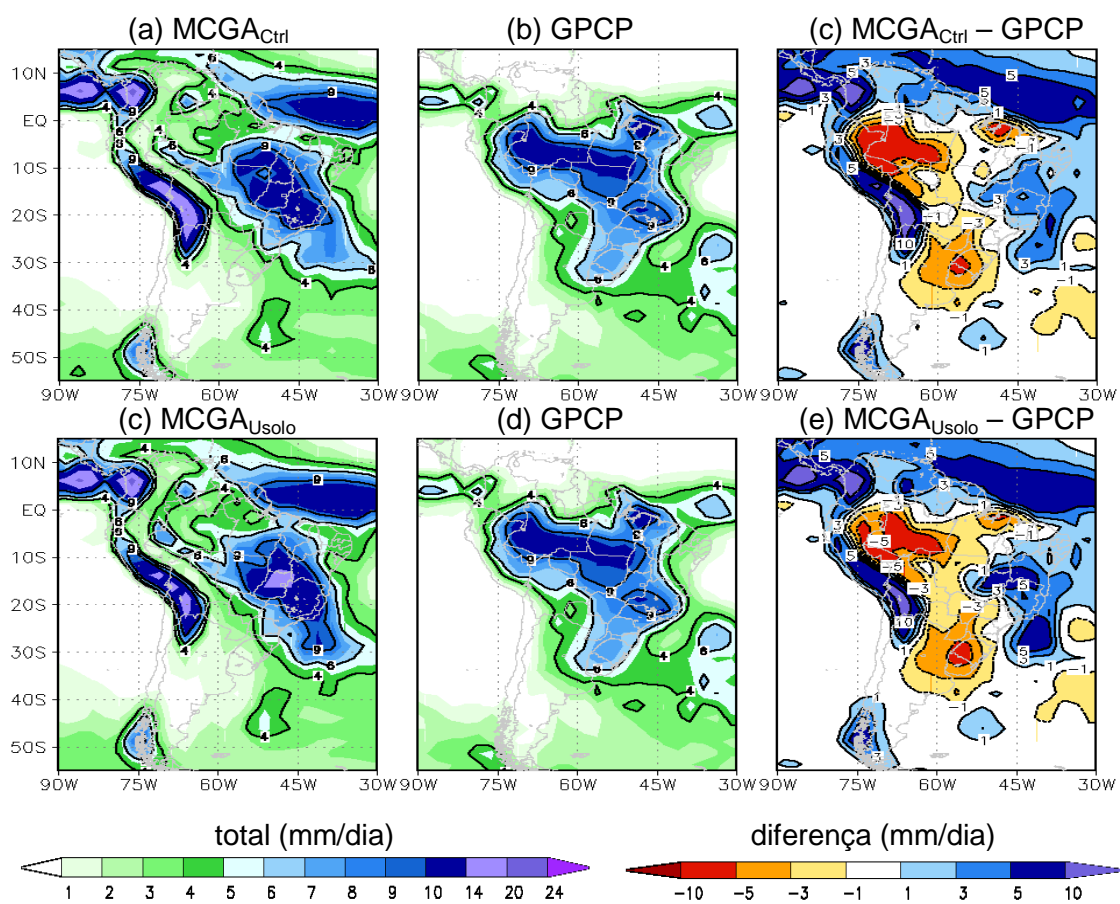


Figura 5.1. Precipitação média diária (mm/dia) em DJF/2003 simulada pelo modelo (a e c); observada (b e d); diferença (c e e).

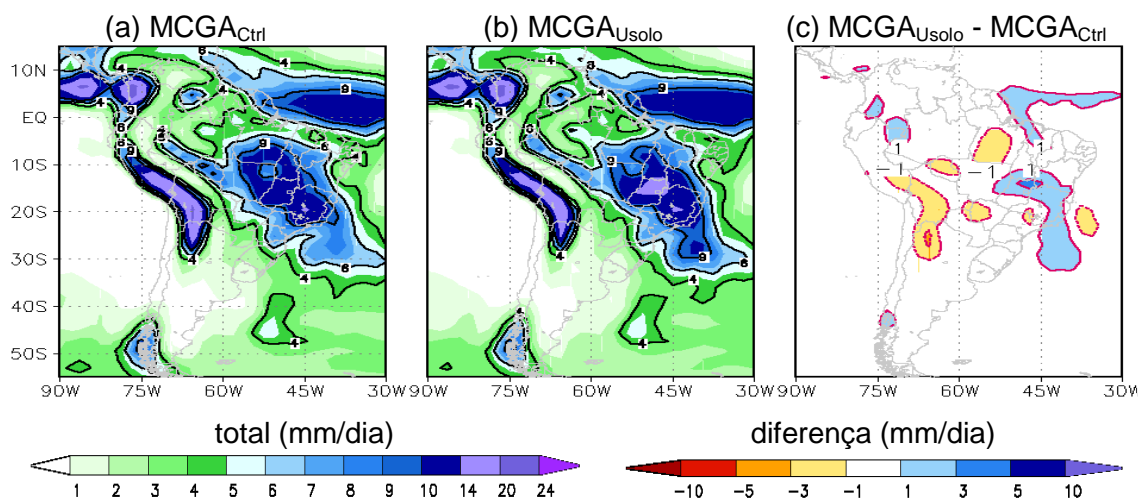


Figura 5.2. Precipitação média diária (mm/dia) em DJF/2003: (a) MCGA_Ctrl; (b) MCGA_Usolo; (c) MCGA_Usolo - MCGA_Ctrl.

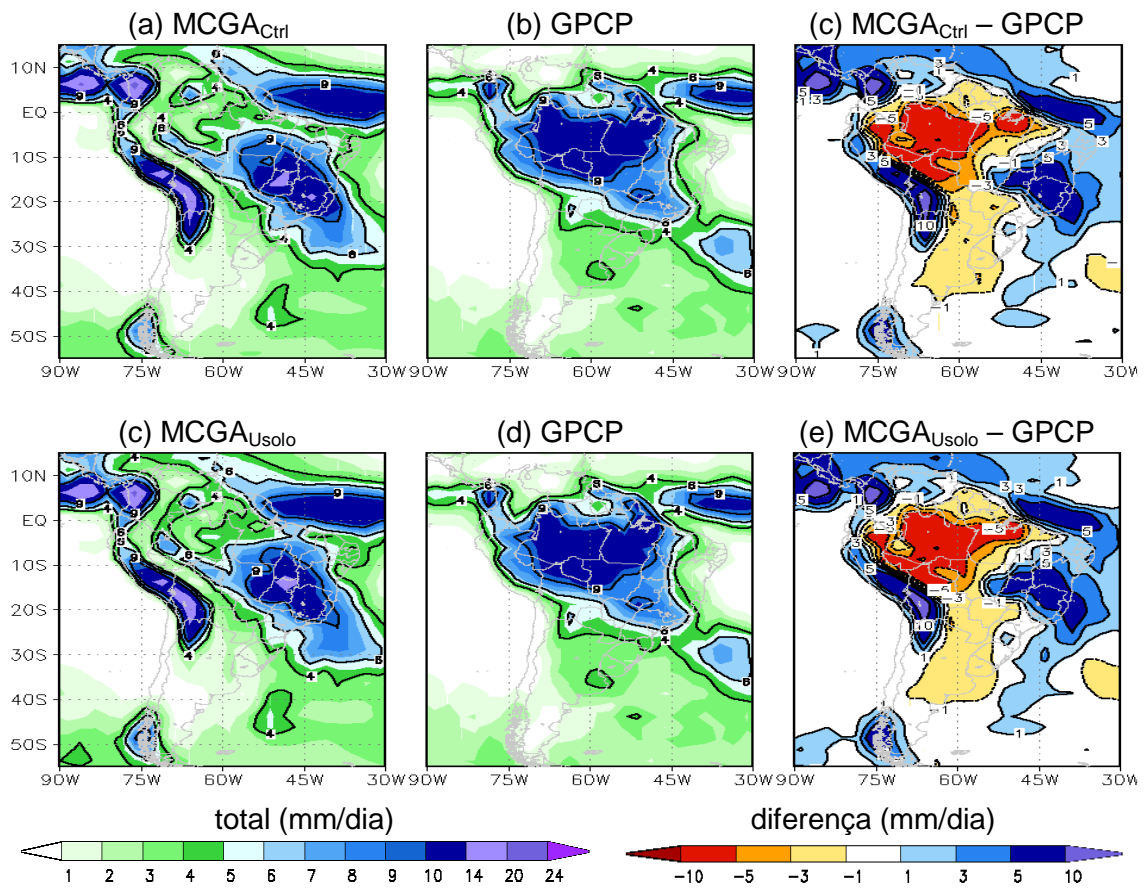


Figura 5.3. Precipitação média diária (mm/dia) em DJF/2006 simulada pelo modelo (a e c); observada (b e d); diferença (c e e).

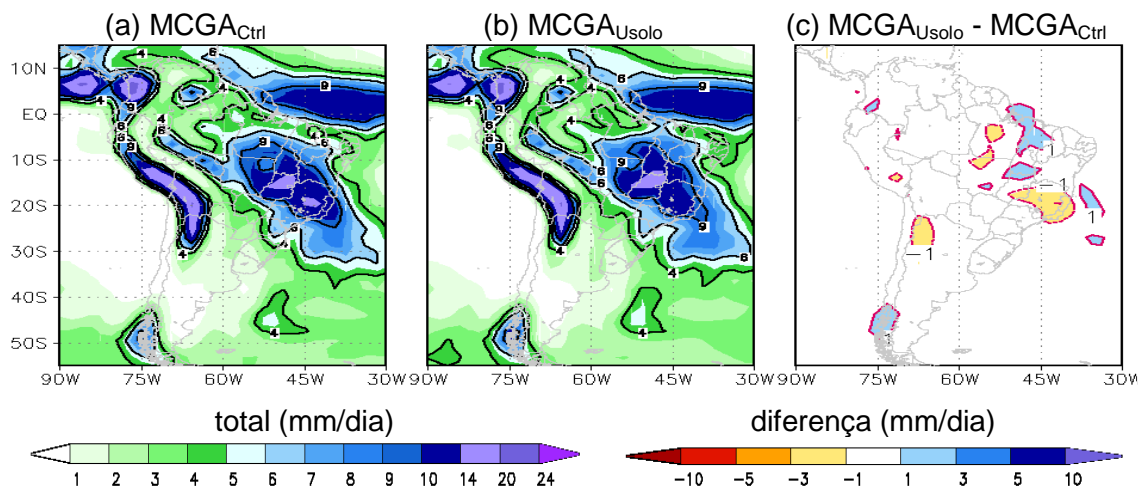


Figura 5.4. Precipitação média diária (mm/dia) em DJF/2006: (a) MCGA_{Ctrl}; (b) MCGA_{Usolo}; (c) MCGA_{Usolo} - MCGA_{Ctrl}.

5.2. Impacto da atualização do mapa da cobertura vegetal

No presente estudo, são feitas as comparações entre a simulação do clima sazonal obtida considerando um novo mapa de cobertura vegetal e a nova condição inicial de umidade do solo ($MCGA_{Proveg}$) e experimentos de controle ($MCGA_{Ctrl}$ e $MCGA_{Usolo}$). Ressalta-se que como a simulação $MCGA_{Proveg}$ também inclui a condição inicial de umidade de solo real, faz-se necessário a subtração desta componente para avaliar a contribuição devido somente a modificação da cobertura vegetal. Isso é feito pela diferença entre a simulação $MCGA_{Proveg}$ e a simulação com a condição inicial de umidade do solo real ($MCGA_{Usolo}$). Essa última é a simulação apresentada no item anterior.

Os resultados das simulações são apresentados na Figura 5.5. A precipitação média diária simulada para o verão de 2003 e o verão de 2006 mostra que os erros sistemáticos do modelo global persistem, ou seja, que a ação conjunta das modificações da cobertura vegetal e da condição inicial de umidade do solo não é suficiente para alterar o padrão de distribuição da precipitação; pelo contrário, aumentam o erro sistemático na região AMZ, na ZCAS e na ZCIT (verão de 2003). Comparando os dois anos, as diferenças foram mais acentuadas no verão de 2003, exceto aquela localizada na parte centro sul do Estado do Pará.

A exclusão da componente da umidade do solo (Figuras 5.5, à direita) indica que o feito líquido da mudança da cobertura vegetal afeta diretamente a região Amazônica, onde foram inseridos o desflorestamento ao longo da região do Arco do Desflorestamento (compare Figuras 2.3a e 2.3b). O desflorestamento reduz a precipitação local. Como compensação ocorre o aumento de precipitação na região das ZCAS (Sudeste do Brasil). O efeito de redução de precipitação sobre essa região da AMZ e de aumento de precipitação na região da ZCAS parece simétrico em forma e intensidade, tanto para o verão de 2003 como para o verão de 2006. Assim, se o núcleo de diferenças positivas for

pequeno sobre a região Amazônica, será também pequeno sobre a região da ZCAS. O dipolo da diferença de precipitação entre as regiões da AMZ e da ZCAS foi maior e mais intenso no verão de 2006, quando a influência conjunta da condição inicial de umidade do solo e da cobertura vegetal (Figura 5.5, no centro) esteve menos ativa do que no verão de 2003. Decorre que no verão de 2006 o papel da condição inicial de umidade do solo foi o de desfavorecer o excesso de precipitação sobre a região da ZCAS (Figura 5.4), o que provocou uma desintensificação no efeito remoto decorrente degradação da cobertura vegetal no este da AMZ (degradação da cobertura vegetal no oeste da AMZ criando uma circulação de mesoescala, em que se verifica redução da precipitação na área degradada e aumento sobre a vizinhança). Esse padrão de dipolo sobre as regiões Amazonas e ZCAS (com redução e aumento de precipitação, respectivamente), também foi observado por Souza (2006) em simulações climáticas com o modelo regional Eta. Os campos de movimentos verticais comprovaram a existência de uma circulação de mesoescala gerada devido à degradação da vegetação. A atualização da classe de cobertura vegetal sobre o NEB (inclusão das atividades agrícolas no setor nordeste do NEB) não provocou impacto direto na precipitação sobre a região.

5.3. Impacto da modificação nos parâmetros de vegetação e de solo

As Figuras 5.6 e 5.7 apresentam campos de precipitação média diária para a estação de verão dos anos de 2003 e de 2006, respectivamente. Os resultados mostram que os erros sistemáticos do MCGA/SSIB persistem e, além disso, que não houve modificações acentuadas entre as simulações. De modo que, o aumento da espessura dos solos nas duas últimas camadas do modelo de superfície sobre a vegetação de floresta tropical, não foi suficiente para evitar a subestimativa de precipitação sobre a região AMZ, mesmo com o aumento da evapotranspiração associado ao aumento da profundidade das raízes.

As modificações mais acentuadas nos parâmetros também não levaram a eliminação dos erros sistemáticos do modelo. No caso mais extremo, adicionalmente, no experimento MCGA_E9 durante o verão de 2006 (Figura 5.7), a floresta amazônica (caatinga) sobre a América do Sul teve valores de albedo reduzidos (aumentados), com as alterações nos coeficientes da radiação de ondas curtas (parâmetros a, b e c na Tabela 3.2), a fim de aumentar (diminuir) a energia disponível à superfície e, por conseguinte, aumentar (diminuir) a umidade disponível, através do calor latente, para a convecção úmida. Todavia, essas forçantes locais não foram suficientes.

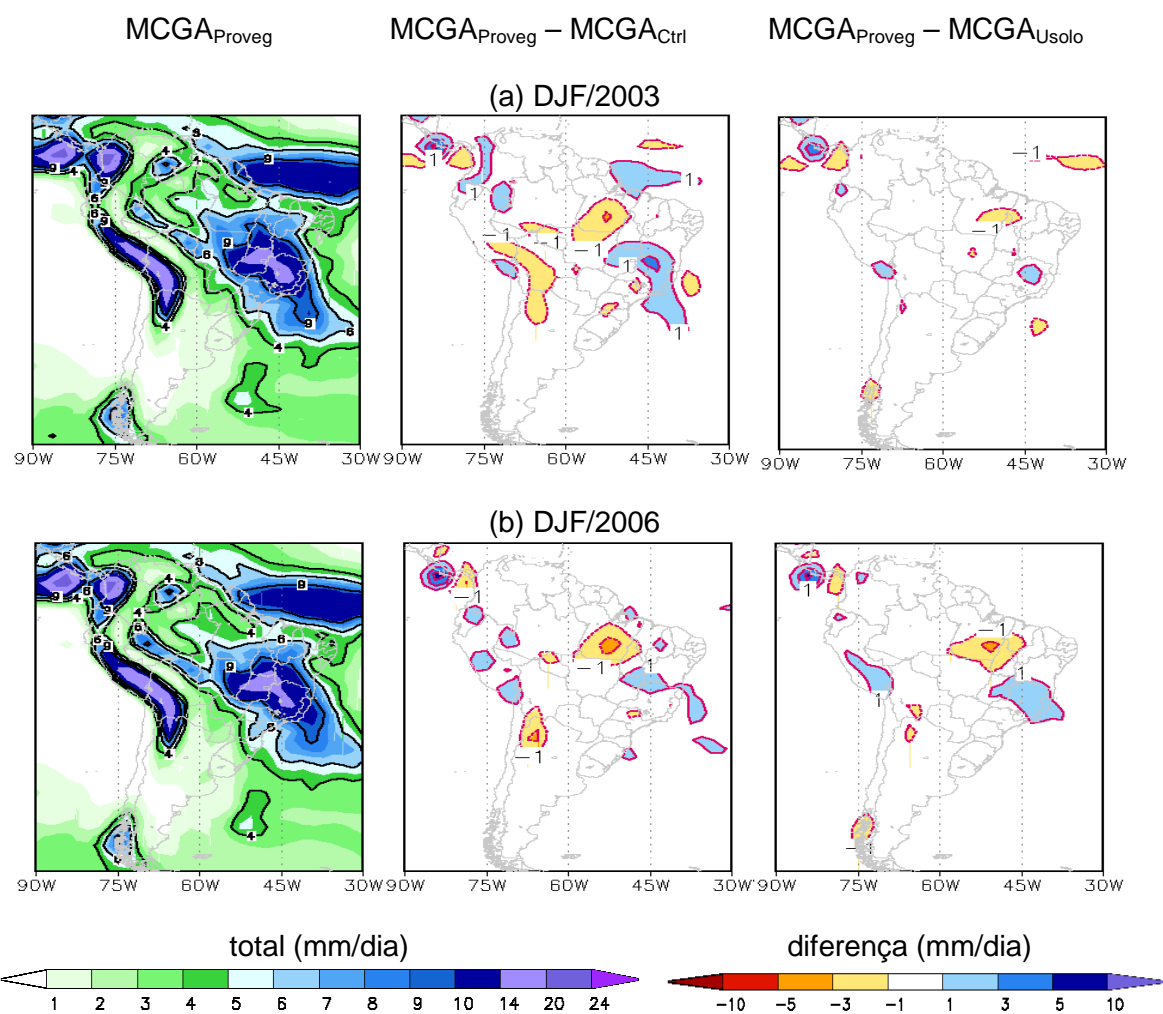


Figura 5.5. Precipitação média diária (mm/dia) simulada no experimento MCGA_{Proveg} (à esquerda), diferença MCGA_{Proveg} - MCGA_{Ctrl} (no centro) e diferença MCGA_{Proveg} - MCGA_{Usolo} (à direita) para DJF/2003 (a) e DJF/2006 (b).

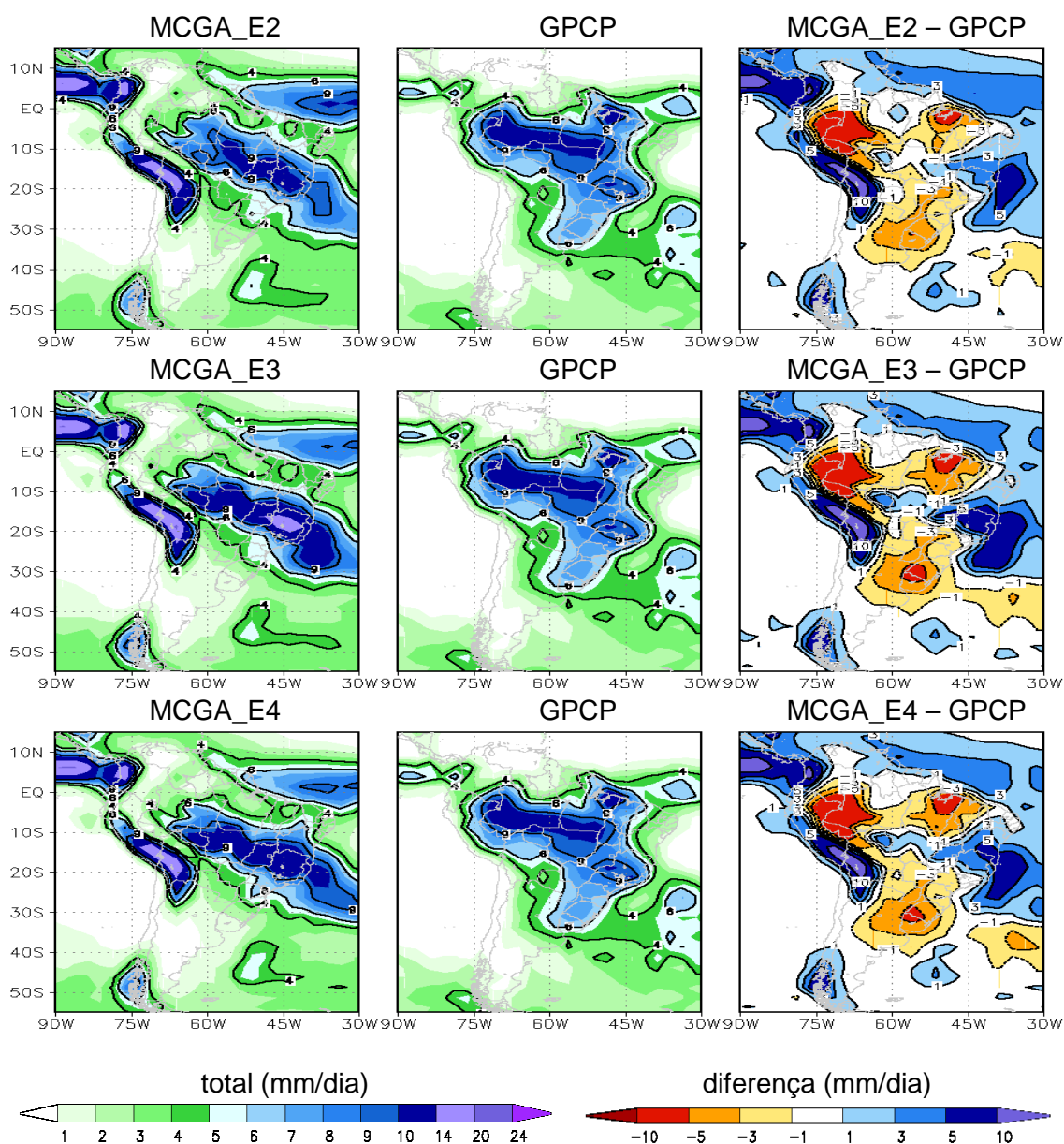


Figura 5.6. Precipitação média diária (mm/dia) para DJF/2003: simulada (à esquerda), observada (no centro), diferença (à direita). As simulações contêm as modificações nos parâmetros de vegetação e de solo: EXP MCGA_E2 - MCGA_E4.

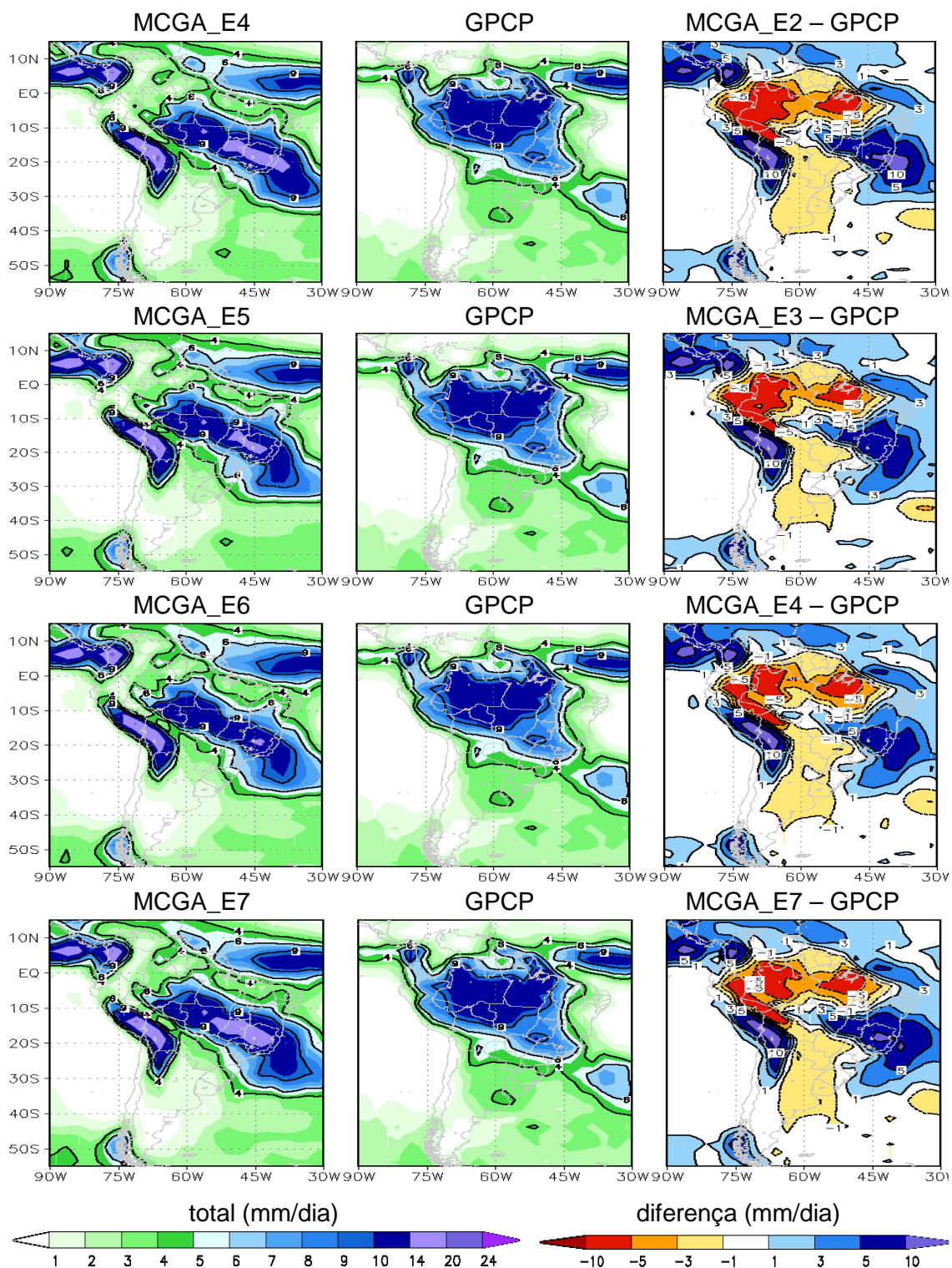


Figura 5.7. Precipitação média diária (mm/dia) para DJF/2006: simulada (à esquerda), observada (no centro), diferença (à direita). As simulações contêm as modificações nos parâmetros de vegetação e de solo: EXP MCGA_E4 - MCGA_E9 (continua).

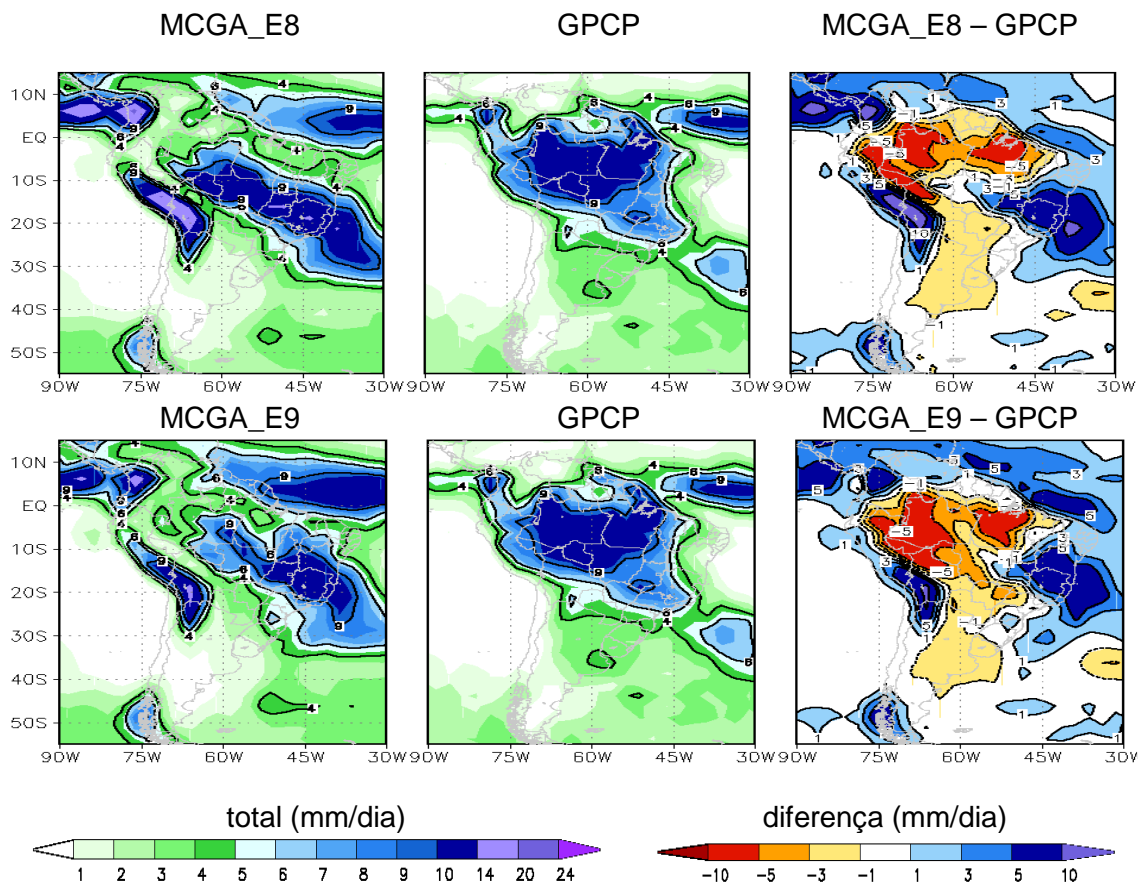


Figura 5.7. Conclusão.

6 CONCLUSÃO

Experimentos numéricos foram realizados com o modelo MCGA/SSiB do CPTEC/INPE, além de modificações em códigos fontes dos modelos e geração de códigos fontes para pré-processamento de informações.

Foram feitas simulaçõesprevisões climáticas com o modelo global para a estação de verão austral (DJF/2003 e DJF/2006) em que foram verificados os erros sistemáticos do modelo, em concordância com os encontrados na literatura (Cavalcanti et al., 2002). A análise estatística indica que os erros são representativos sobre a faixa tropical, onde todos os membros confirmam a subestimativa da precipitação sobre a AMZ e a superestimativa sobre o NEB. A avaliação do padrão de circulação atmosférica no MCGA/SSiB apontaram associações entre os campos de precipitação com a circulação de grande-escala – Altas Subtropicais do Atlântico modulam o escoamento e a umidade específica no continente. O Fluxo de umidade específica em baixos níveis e o movimento vertical indicam que a umidade proveniente do oceano Atlântico é levada para a região da ZCAS e não para a AMZ - o que reduz a precipitação na região.

Adicionalmente, foi realizada uma série de experimentos com o modelo global considerando modificações no campo inicial de umidade do solo, nos mapas de cobertura vegetal e nos parâmetros de vegetação e solo (morfológicos e fisiológicos) no modelo de superfície acoplado. Entretanto, as simulações sazonais do clima sob essas diferentes considerações, para dois anos com precipitações significativas na AMZ, não apresentaram melhora, ou seja, os resultados obtidos com o modelo global ainda apresentam os erros sistemáticos na precipitação. Em todos os experimentos realizados, as modificações foram feitas dentro do escopo do modelo de superfície. Essa abordagem buscou verificar o peso de diferentes condições de contorno inferior (tratadas pelo modelo de superfície) na dinâmica do modelo global de previsão

de tempo e clima. Todavia, a abordagem presente não foi suficiente para mudar o padrão de erros sistemáticos, o que indica a necessidade de pesquisas adicionais. Uma direção que pode ser tomada é a de investigar o tratamento da estabilidade atmosférica no modelo, com o enfoque do estudo da termodinâmica da atmosfera com ênfase, na Camada Limite Atmosférica, onde são efetuadas as trocas de calor e de *momentum* entre a superfície (modelo de superfície) e a atmosfera livre.

6.1 Sugestões

Realizar modificações nos parâmetros de estabilidade da Camada Limite Atmosférica (esquema Mellor-Yamada) prescritos no modelo MCGA/SSiB.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADLER, R.F., HUFFMAN, G.J, CHANG, A. et al., The Version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979-present), **J. Hydrometeor.**, v. 4, n. 6, p. 1147-1167, 2003.

ALVALÁ, R.C.S.; NOBRE, C.A.; CHOU, S.C.; VALERIANO, D.M.; MELLO, E.K.; CORREIA, F.W.S.; TOMASELLA, J.; CÂNDIDO, L.A.; SESTINI, M.F.; CARVALHO, V.C. **Melhorias da descrição de parâmetros de superfície e de vegetação da região Nordeste do Brasil para utilização em modelos meteorológicos e hidrológicos**. São Paulo: FAPESP, 2005. Projeto de Pesquisa financiado pela FAPESP (Processo 03/000142-8).

ANTHES, R.A. A cumulus parametrization scheme utilizing a one-dimensional cloud model. **Monthly Weather Review**, v. 105, p. 270-286, 1977.

ARORA, V.K.; BOER, G.J. A representation of variable root distribution in dynamic vegetation models. **Earth Interactions**, v. 7, Paper 6, 2003. 19 p.

CANDIDO, L. A. **Impacto da condição inicial de água no solo na previsão de verão da América do Sul**. 2002. 224 p. (INPE-10477-TDI/931). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2002. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2004/04.20.10.28> . Acesso em: 16 set. 2010.

CAMPBELL, G. **Soil physics with basic**. transport models for soil-plant systems. developments in soil science. New York: Elsevier, 1985.

CAVALCANTI, I.F.A. Previsão climática no CPTEC. **Climanálise**, 1996. Edição comemorativa de 10 anos.

CAVALCANTI, I.F.A.; PEZZI, L.; NOBRE, P.; SAMPAIO, G.; CAMARGO, H. Climate prediction of precipitation in Brazil for the Northeast rainy season (MAM). **Experimental Long-Lead Forecast Bulletin**, v. 7, n. 4, p. 24-27, 1998.

CAVALCANTI, I.F.A.; MARENGO, J.A.; SATYAMURTI, P.; NOBRE, C.A.; TROSNIKOV, I.; BONATTI, J.P.; MANZI, A.O.; TASAROVA, T.; PEZZI, L.P.; D'ALMEIDA, C.; SAMPAIO, G.; CASTRO, C.C.; SANCHES, M.B.; CAMARGO, H. Global climatological features in a simulation using the CPTEC-COLA AGCM. **Journal of Climate**, v.15, n.21, p. 2965-2988, 2002.

CHARNEY, J.G., QUIRK, W.J.; CHOW, S.H.; KORNFIELD, J. A comparative study of the effects of albedo change on drought in semi-arid regions. **Journal of Atmospheric Sciences**, v.34, p.1366-1385, 1977.

CLAPP, R. B.; HORNBERGER, G. M. Empirical equations for some hydraulic properties. **Water Resour. Res.**, v. 14, p. 601-604, 1978.

CORREIA, F. W. S. **Modelagem do impacto de modificações da cobertura vegetal amazônica no clima regional**. 2005. 422 p. (INPE-14094-TDI/1077). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1913/2005/04.11.13.20> . Acesso em: 16 set. 2010.

CORREIA, F. W. S.; ALVALÁ, R. C. S.; MANZI, A. O.; GIELOW, R.; KUBOTA, P. Y. Calibração do "Simplified Simple Biosphere Model" "SSIB" para áreas de pastagem e floresta na Amazonia com dados do LBA. **Advances in Space Research**, v. 35, n. 2, p. 283-297, abr. 2005. (INPE-13480-PRE/8693). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/ePrint@80/2005/09.05.12.53>>. Acesso em: 16 set. 2010.

DORMAN, J. L.; SELLERS, P.J. A global climatology of albedo, roughness length and stomatal resistance for atmospheric general circulation models as represented by the Simple Biosphere Model (SiB). **Journal of Applied Meteorology**, v.28, p. 833-855, 1989.

GEVAERD, R; FREITAS, S. Estimativa operacional da umidade do solo para iniciação de modelos de previsão numérica da atmosfera. Parte I: descrição da metodologia e validação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3, 1-15, 2006.

HILLEL, D. **Environmental Soil Physics**. London: Academic Press, 1998. 770 p.

HULME, M.; SHEARD, N. Cenários de alterações climáticas para o Brasil. Norwich, Reino Unido: Climate Reserch Unit, 1998. 6p. Disponível em: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/pubs> Acesso em: 16 de set. 2010.

.

KINTER III, J.L.; DE WITT, D.; DIRMYER, P.; FENESEY, M.; KIRTMAN, B.; MARX, L.; SCHNEIDER, E.; SHEKLA, J.; STRAUS, D. **The COLA atmosphere-biosphere general circulation model**. Calverton, MD: Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies – COLA, 1997, 46p. Report No. 51.

KUO, H.L. On formation and intensification of tropical cyclones through latent heat release by cumulus convection **Journal Atmospheric Science**, v. 22, p. 40-63, 1965.

LACIS, A. A.; HANSEN, J. E. A parameterization of the absorption of solar radiation in the earth's atmosphere. **Journal Atmospheric Science**, v. 31, n. 1, p. 118-133, 1974.

MARENGO J.; CAVALCANTI I.F.A.; SATYAMURTY P.; NOBRE C.A.;
BONATTI J.P.; MANZI A.O.; TROSNIKOV I.; SAMPAIO G.; CAMARGO, H.;
SANCHES, M.B.; CUNNINGHAM, C.A.C.; D'ALMEIDA, C.; PEZZI, L.P.
Ensemble simulation of regional rainfall features in the CPTEC/COLA
atmospheric GCM: Skill and Predictability assessment and applications to
climate predictions. **Climate Dynamics**, v. 21, p. 459-475, 2003.

MELLOR, G. L.; YAMADA, T. Development of a turbulence closure model for
geophysical fluid problems. **Rev. Geophys. Space Phys.**, v.20, p.851-875,
1982.

OYAMA, M.D.; ROCHA, E.J.P.; NOBRE, C. Estudo preliminar sobre o tempo
de "spin-up" da umidade do solo no Modelo Climático do CPTEC. In:
Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio
de Janeiro: SBMET, 2000. 1 CD-ROM.

PANETTA, J., BARROS, S. R. M., BONATTI, J. P., TOMITA, S.S.; KUBOTA, P.
Y. "Computational Cost of CPTEC AGCM" at Use of High Performance
Computing in Meteorology. [S.l.]: **World Scientific Publishing Co.**, p. 65-83,
2007. ISBN-13 978-981-277-588-7.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração.**
Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

ROCHA, E.J.P. **Balço de umidade e influência de condições de contorno
superficiais sobre a precipitação da Amazônia.** 2001. 170p. Tese
(doutorado em meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São
José dos Campos, 2001. (INPE-10243-TDI/904).

ROCHA, H.R.; NOBRE, C.A; BONATTI, J.P.; WRIGHT, I.R. A vegetation-
atmosphere interaction study for amazonian deforestation using field data and

single column model. **Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society**, v. 122, p. 567-594, 1996.

SELLERS, P.J.; MINTTZ, Y.; SUD, Y.C.; DALCHER, A. A Simple Biosphere Model (SiB) for use within general circulation model. **Journal of Atmosphere Sciences**, v. 43, n. 6, p. 505-531, 1986.

SELLERS, P.J.; SHUTTLEWORTH, W.J.; DORMAN, J. Calibrating the Simple Biosphere Model for Amazonian Tropical Forest using field and remote sensing data. Part I: Average calibration with filed data. **Journal of Applied Meteorology**, v. 28, p. 727-759, 1989.

SESTINI, M. F.; ALVALA, R. C. S.; MELLO, E. M. K.; VALERIANO, D. M.; CHAN, C. S.; NOBRE, C. A. N.; PAIVA, J. A. C.; REIMER, É. S. **Elaboração de mapas de vegetação para utilização em modelos meteorológicos e hidrológicos**. São José dos Campos: Deposited in the URLib collection, 2002. (INPE-8972-RPQ/730). (INPE-8972-RPQ/730). Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/marciana/2003/03.05.15.05> . Acesso em: 16 set. 2010.

SLINGO, J.M. The development and verification of a cloud prediction model for the ECMWF model. **Quart. J. Roy. Meteor. Soc.**, v. 113, p. 899-927, 1987.

SOUZA, S.S. **Impactos climáticos regionais da mudança de vegetação no semi-árido do nordeste brasileiro**. 2006-03-27. 209 p. (INPE-14432-TDI/1131). Tese de Doutorado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2006. Disponível na biblioteca digital URLib: <http://MTC-m13.sid.inpe.br/rep-/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/06.12.13.47> . Acesso em: 08 fev. 2007.

SHUKLA, J.; MINTZ, Y. Influence of land-surface evapotranspiration on the

earth's climate. **Science**, v. 215, n. 4539, p. 1498-1501, 1982.

SUD, Y.C.; SHUKLA, J.; MINTZ, Y. Influence of land surface roughness on atmospheric circulation and precipitation: a sensitivity study with a General Circulation Model. **Journal of Applied Meteorology**, v. 27, n. 9, p. 1036-1054, 1988.

TIEDKE, M. The sensitivity of the time mean large scale flow to cumulus convection in the ECMWF model. In: WORKSHOP ON CONVECTION IN LARGE SCALE NUMERICAL MODELS, 1983, Reading. **Proceedings...** Reading: ECMWF, 1983. p. 297-316.

WILLMOTT, C.J.; ROWE, C.M.; MINTZ, Y. Climatology of the terrestrial seasonal water cycle. **Journal of Climatology**, v.5, p.589-606, 1985.

XIE, P.P.; ARKIN, P.A. Global Precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.78, n. 11, p. 2539-2558, 1997.

XUE, Y; SELLERS, P. J.; KINTER, J.L.; SHUKLA, J. A simplified biosphere model for global climate studies. **Journal of Climate**, v.4, n. 3, p. 345-364, 1991.