

# PROPOSTA DE UMA NOVA METODOLOGIA DE INICIALIZAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO NO MODELO DE PREVISÃO DE TEMPO REGIONAL

Luiz Antonio **Candido**, Gilvan **Sampaio**, Carlos **Nobre**  
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC

## 1. INTRODUÇÃO

A interação entre a superfície continental e a camada inferior da atmosfera tem uma função fundamental nos regimes de tempo e clima. No sentido de se melhorar o conhecimento das complexas interações que ocorrem na superfície, vários modelos atmosféricos têm sido acoplados a esquemas de superfície continental. Surgidos a partir dos primeiros estudos de Budyko em 1956 e Manabe (1969), estes esquemas de representação da superfície continental foram desenvolvidos ao longo dos anos com uma crescente sofisticação na representação dos processos de interação continente-atmosfera. Hoje, embora os modelos meteorológicos estejam na sua maioria acoplados a algum esquema de superfície sofisticado, a inicialização da umidade do solo ainda é especificada através de climatologias geradas através de modelos mais simples de balanço hídrico (Candido, 2002). Os dados de Willmott *et al.* (1985), Mintz e Serafini (1992) e Mintz e Walker (1993) são exemplos destas climatologias. Em virtude das diferenças existente entre os diversos esquemas, no que se refere ao tratamento dos processos físicos da superfície, as estimativas de água no solo obtidas através de modelos mais simples não podem ser aplicadas diretamente nos esquemas de transferência solo-planta-atmosfera mais avançados. Alternativas foram adotadas, por exemplo, por Sato *et al.* (1989) para o modelo SiB (Simple Biosphere), e por Manzi e Planton (1994) para ISBA (Interactions Soil-Biosphere-Atmosphere). Estes autores desenvolveram procedimentos específicos para “converter” os valores de umidade do solo calculados por outros esquemas, em valores “apropriados” aos seus esquemas de superfície.

Como apontado por Sato *et al.*, aproximações, como as adotadas em seu trabalho, contribuem para aumentar o grau de incerteza já presente nas estimativas de umidade do solo. Uma das aproximações de sua metodologia é que o grau de saturação gerado para o SiB seja uniformemente distribuído nas três camadas de solo. Além disso, a dependência em relação aos parâmetros que definem as características da superfície, seja quanto ao tipo de vegetação ou ao tipo de solo, torna a umidade do solo resultante ainda mais incerta. As propriedades da superfície continental tais como: fração de cobertura vegetal, índice de área foliar e resistência do dossel, diferem entre os biomas (vegetação), de tal forma que estes procedimentos podem gerar diferentes valores de grau de

saturação do solo a partir da mesma climatologia de água no solo, se esta tiver sido derivada através de modelos mais simples.

A Figura 1 ilustra a consideração acima mostrando o resultado da conversão da climatologia de *água disponível* no solo obtida por Willmott *et al.* (1985) (doravante designado por W85), no equivalente *grau de saturação* utilizado pelo SiB (doravante denominado WSiB), aplicando a técnica de Sato *et al.* (1989). Esta análise é para os três principais biomas encontrados no Brasil (*floresta, savana e caatinga*) e representados no esquema SiB. Pode-se observar que no caso de *floresta*, apenas duas condições de inicialização da umidade do solo podem ser consideradas. Uma seca, em que os valores de W85 abaixo de 110 mm implicam em pequena variação de WSiB, com média de 33%; e outra úmida, em que valores de W85 superiores a 110 mm correspondem a valores de WSiB em torno de 70%. No caso da *savana*, a variação de WSiB é de 35 a 70%, contra uma variação de 60 a 100 mm de W85. Os valores mantêm-se aproximadamente constantes acima de 100 mm, e entre 60 e 25 mm. Para W85 abaixo de 25 mm, a variação de WSiB é de 20 a 35%. Ou seja, ocorre uma variação significativa da umidade do solo apenas em condições intermediárias. No caso da *caatinga*, a variação de WSiB é pequena (26%), contra os 140 mm de variação de W85, ou seja, quase toda a capacidade de armazenamento do modelo “bucket”, representa uma pequena variação no campo de água no solo destinado ao esquema SiB.

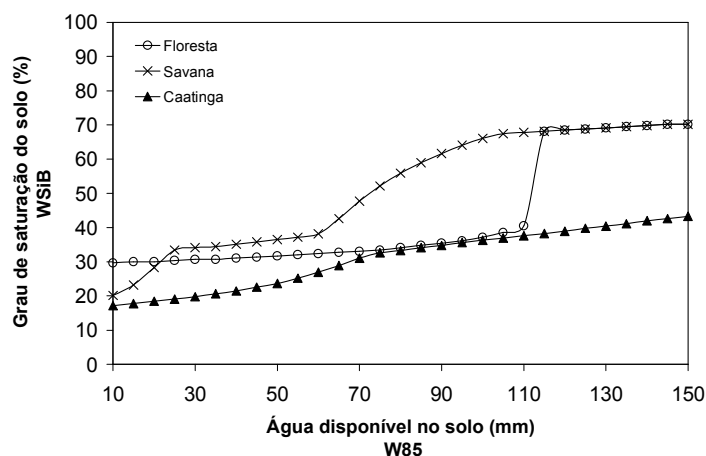


Figura 1 - Relação de conversão do valor de água disponível no solo (mm) de Willmott *et al.* (1985) e o equivalente grau de saturação do solo (%) utilizado no modelo SiB para os biomas *floresta, savana e caatinga*. (Fonte: Candido, 2002)

Diante das considerações discutidas acima, vários estudos têm mostrado a necessidade de um tratamento fisicamente mais realista, na inicialização da umidade do solo nos modelos meteorológicos. O desenvolvimento de metodologias para estimativa da umidade do solo que possam ser aplicadas em escala global e regional é o caminho mais indicado. Segundo Entin *et al.*

(1999), estas metodologias devem ser consistentes com a parametrização de água no solo adotada no esquema de superfície acoplado ao modelo meteorológico. Para eles a solução mais satisfatória é utilizar o próprio esquema de superfície em modo “off-line”, forçado com dados observados, e gerar os campos de água no solo necessários à inicialização dos modelos meteorológicos. Este fundamento baseia-se no fato de que os modernos esquemas de superfície são capazes de representar os principais processos associados a interação solo-planta-atmosfera em larga escala espacial. Se as “forçantes” traduzem com realismo as condições climáticas, as estimativas de umidade do solo serão mais representativos deste estado atmosférico.

Esse é o contexto dos projetos GSWP I (Global Soil Wetness Project) (Dirmeyer, 1999a) e GOLD (Global Offline Land Surface Data set) (Dirmeyer e Tan, 2001), que produziram campos de água no solo utilizando os modernos modelos de superfície, forçados por observações meteorológicas e análises. Atualmente está em andamento o GSWP II (Dirmeyer et al., 2003) que segue os mesmos moldes do GSWP I, com algumas melhorias no tratamento dos dados forçantes, e com integrações dos esquemas de superfície por períodos mais longos. A aplicação dos campos de umidade do solo gerados nestes projetos em experimentos com MCGA, contribuiu para melhoria da previsão climática sazonal em várias regiões do globo (Dirmeyer, 1999a,b; Entin *et al.*, 1999; Mocko *et al.*, 1999). Os resultados mostram que o tratamento mais correto da umidade do solo é um dos caminhos para o desenvolvimento da nova geração de modelos de biosfera, que poderão contribuir para o estudo dos mecanismos de previsibilidade climática associados à condição da superfície continental. Todos os recentes estudos relacionados à investigação do impacto da condição inicial de água no solo nas previsões numéricas reafirmam a importância e a necessidade de uma representação mais acurada desta variável tanto em escala regional como global.

Desta forma, este estudo pretende contribuir com o aprimoramento da inicialização dos esquemas de superfície, através do desenvolvimento de uma metodologia de geração de um campo “analisado” de umidade do solo que possa ser utilizado na inicialização dos modelos meteorológicos.

## **2. METODOLOGIA**

Para o desenvolvimento deste trabalho foi adotada o mesmo princípio empregado nos projetos GSWP I, GOLD e GSWP II, ou seja, aplicação de um esquema de biosfera em modo “off-

line” (desacoplado) para estimativa da umidade do solo, onde os dados forçantes foram obtidos combinando observações e análises atmosféricas. Tendo em vista que esta técnica é, inicialmente, para aplicação na previsão de tempo operacional, quatro fundamentos essenciais à sua implementação foram considerados:

- 1) Operacionalização: a aplicação rotineira desta técnica deve usufruir da estrutura operacional de aquisição de dados; O custo computacional associado a todos as fases do processos deve ser compatível com a exigência da previsão de tempo;
- 2) Compatibilidade e confiabilidade física do esquema de superfície: a estrutura física do esquema utilizado na geração do campo de umidade do solo deve ser compatível com o esquema de superfície acoplado ao modelo de previsão de tempo; O esquema deve apresentar um histórico de validação reconhecido pela comunidade de modelagem numérica;
- 3) Combinação de informações: a combinação de dados analisados e observacionais contribui para a inclusão de fator físico e dinâmico na desagregação temporal das forçantes meteorológicas;
- 4) Otimização: a utilização de uma modulação “off-line” permite que o esquema de superfície seja ajustado, de tal forma que, problemas como do “spin up” da umidade do solo, muito comuns na inicialização dos modelos acoplados, sejam minimizados.

## **2.1 Estrutura**

O modelo atmosférico adotado foi o modelo regional Eta, por ser este o modelo de previsão de tempo operacional no CPTEC. O esquema de superfície adotado foi o modelo SSiB (Simplified Simple Biosphere) também operacional no CPTEC, e que tem um amplo histórico de validação, inclusive com dados representativos da floresta tropical brasileira. A estrutura necessária para a aplicação da metodologia consiste de dois módulos: 1) acoplado e 2) desacoplado. O funcionamento destes módulos é descrito a seguir:

### **1) Módulo Acoplado**

Este módulo contempla particularmente os fundamentos (1) e (2) e utiliza o modelo atmosférico Eta acoplado com o esquema de superfície SSiB, com resolução horizontal de 40 km. As forçantes laterais e condições iniciais foram as análises operacionais do NCEP nos horários de 00, 06, 12 e 18 UTC. A inicialização da umidade do solo foi a partir da climatologia obtida dos

dados GOLD (Dirmeyer e Tan, 2001). A função principal deste módulo é gerar as forçantes necessárias ao módulo desacoplado (off-line) na resolução temporal adequada ao esquema de superfície.

As variáveis necessárias ao esquema de superfície do módulo “off-line” são: temperatura, umidade, radiação solar incidente, radiação de onda longa emitida pela atmosfera em direção a superfície, componentes da velocidade do vento, pressão atmosférica e precipitação. Estas informações foram obtidas de pré-integrações de 6 dias do modelo Eta-SSiB com saídas horárias para estas variáveis. Dentre os seis dias de previsão sempre o primeiro dia foi descartado para remover os efeitos de “spin up” da atmosfera. As integrações foram conduzidas no período de 24 de novembro de 2002 até 28 de fevereiro de 2003, com períodos de separação de 5 dia entre cada rodada do modelo. A integração seguinte foi inicializada sempre 24h antes do último dia da integração anterior, conforme mostra a Figura 2. As séries horárias das variáveis atmosféricas do módulo acoplado, obtidas de todas as integrações no período, foram utilizadas para compor a série temporal de forçantes para o módulo “off-line”.

## 2) Módulo Desacoplado (“Offline”):

Este módulo contempla todos os fundamentos (1), (2), (3) e (4) descritos anteriormente, e tem a vantagem de que o uso “offline” de um esquema de superfície possibilita a redução dos efeitos de “spin up” associados à inicialização da umidade do solo, além de permitir ajuste de parâmetros biofísicos que podem contribuir para um melhor ajuste deste campo ao estado observado. Neste módulo também é possível combinar as forçantes derivadas do módulo acoplado com dados observados.

Isto foi feito com a precipitação, onde o campo de chuva estimado pelo módulo acoplado foi substituído pelos totais diários de chuva observada. Este procedimento pode promover um excesso de “runoff”, por parte do SSiB, em virtude da sua incapacidade de absorver, como infiltração, chuvas de grandes intensidades, o que poderia ter impacto na estimativa da umidade do solo. Para reduzir este problema e também para recompor de forma mais realista possível o ciclo diurno da chuva, foram aplicadas duas metodologias para a desagregação temporal da chuva observada (total diário) em valores correspondentes ao "time step" do modelo (total horário).

A primeira baseou-se na criação de um fator de desagregação a partir da chuva calculada a cada hora pelo modo "acoplado" (Eta/SSiB) dividido pelo acumulado das 24h do mesmo. Este fator

foi aplicado no total de chuva observado. Esta técnica é semelhante à utilizada nos projetos GOLD e GSWP II. A idéia desta técnica é justamente melhorar a partição infiltração/"runoff" quando o intervalo de tempo dos dados de precipitação disponíveis é grande comparado com a duração típica de um evento de chuva convectiva. Onde o modelo Eta/SSiB não previu chuva mas ela foi observada, o fator não pode ser calculado, desta forma foi utilizado a desagregação temporal adotada no GSWP II. Todos estes procedimentos foram implantados para preparar a forçante chuva para o modo "offline". Estas metodologias e também o esquema de geração de umidade do solo serão avaliados durante a validação que ainda precisa ser realizada.

Para inicializar a umidade do solo no esquema "offline", foram utilizados, como condição inicial de água no solo, os dados do projeto GOLD recortados sobre a América do Sul. A partir desta condição e utilizando as forçantes geradas via esquema acoplado, o módulo offline foi integrado (de 24/nov/2002 a 28/fev/2003) iterativamente, ou seja, até entrar em equilíbrio com as forçantes atmosféricas, particularmente, com a chuva observada. A tendência ao equilíbrio da variação da umidade do solo na camada superficial e na zona de raízes em função do número de iterações é mostrado na figura (). Neste caso, a condição de parada foi justamente quando a umidade do solo da camada total atingiu o equilíbrio. A figura () mostra esquematicamente a seqüência de integrações do módulo acoplado à esquerda e do módulo "off-line" à direita.

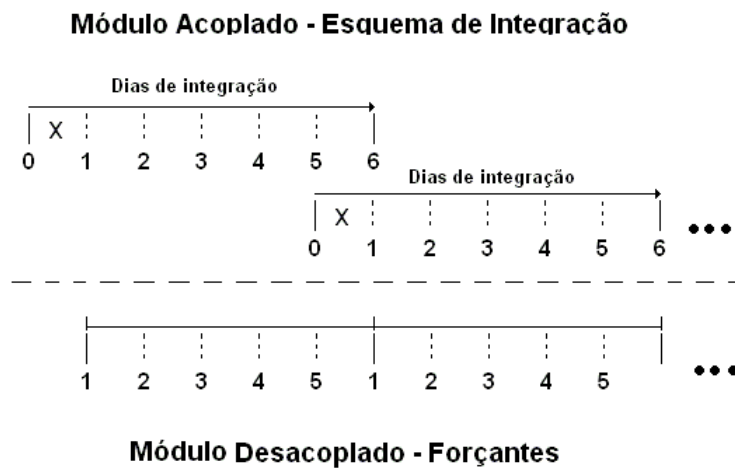


Figura 2 - Diagrama de composição das forçantes atmosféricas para o módulo off-line.

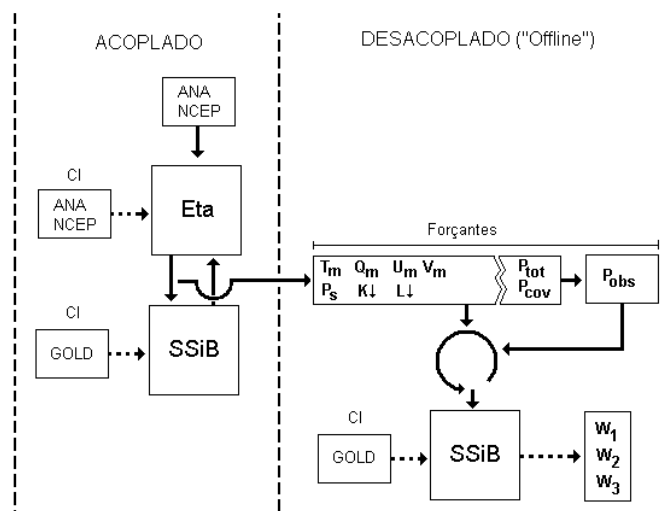


Figura 3 – Diagrama de funcionamento dos dois módulos em conjunto.

## 2.2 Descrição dos experimentos

Na avaliação do impacto da mudança de umidade do solo na previsão de tempo utilizou-se o modelo operacional: Eta-OSU, com o qual foram conduzidas previsões diárias de 120h de integrações e saídas a cada 6h. Adotou-se como condição inicial atmosférica as análises operacionais do NCEP. Nas condições de contorno laterais foram utilizadas as previsões diárias (sempre as 0000 UTC) do modelo global CPTEC/COLA T126L28, também integrado por 120h durante o período de 01 de dezembro de 2002 a 31 de janeiro de 2003. A temperatura da superfície do mar foi a observada. A avaliação do impacto da condição inicial de água no solo foi considerada tomando-se duas metodologias de integração do modelo regional: na primeira, denominada de *controle*, todas as condições de inicialização foram mantidas semelhantes ao formato operacional, particularmente para a umidade do solo, a condição inicial é sempre dada pela climatologia; na segunda, denominada *experimento*, mantém-se todas as condições semelhantes ao caso controle, com a única diferença na condição inicial de umidade do solo, que neste caso corresponde a estimativa obtida neste trabalho.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Estimativa da umidade do solo

A Figura 4 mostra os campos de umidade do solo na zona de raízes médios na área para as regiões do Brasil (Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul) durante o período, derivado neste trabalho, e os equivalentes campos médios da climatologia utilizada na inicialização do modelo

operacional. Verifica-se que o campo de umidade do solo gerado pelo esquema off-line é consistente com os padrões da chuva observada no período. Ao contrário do que apresentado na climatologia, as regiões onde a precipitação está associada à ocorrência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) promove um padrão bastante distinto e variável da umidade do solo. Nota-se que o experimento sempre apresenta menor umidade do solo do que o controle, todavia, nota-se que há uma maior variabilidade da umidade do solo do experimento o que é resultado do sinal das precipitações ocorridas durante o período de estudo, sobretudo na região de atuação da ZCAS. A metodologia apresentada será objeto de validação em trabalho futuro tomando um período de 2 anos (1999 a 2000) de forçantes para o módulo off-line para verificação da representação do ciclo anual da umidade do solo e também a coerência entre o “runoff” estimado e a vazão dos rios associados as principais bacias do Brasil. Nesta etapa dados de vazão dos principais rios serão utilizados para verificação e calibração do esquema de superfície. Adicionalmente, um algoritmo de “routing” será incluído no módulo off-line.

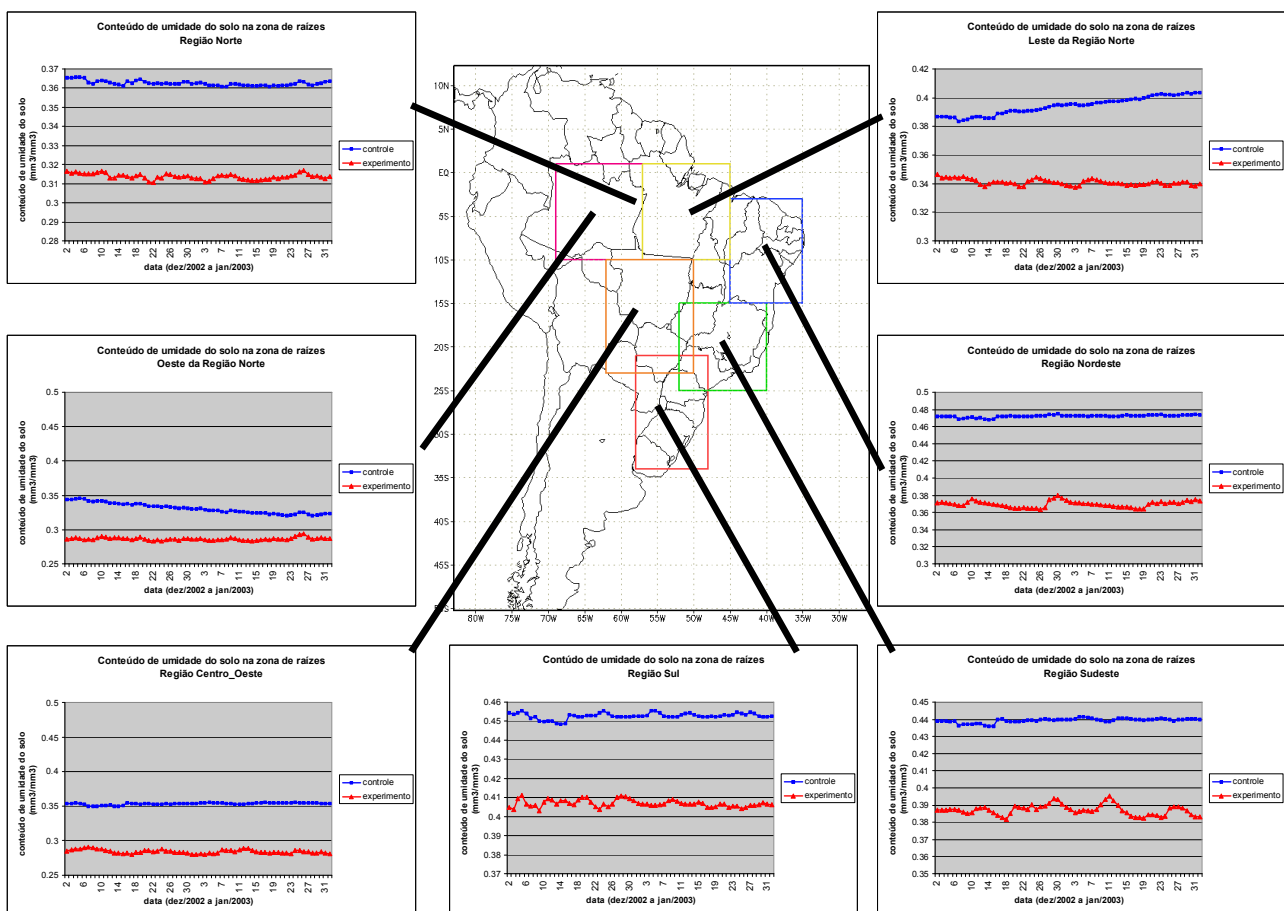
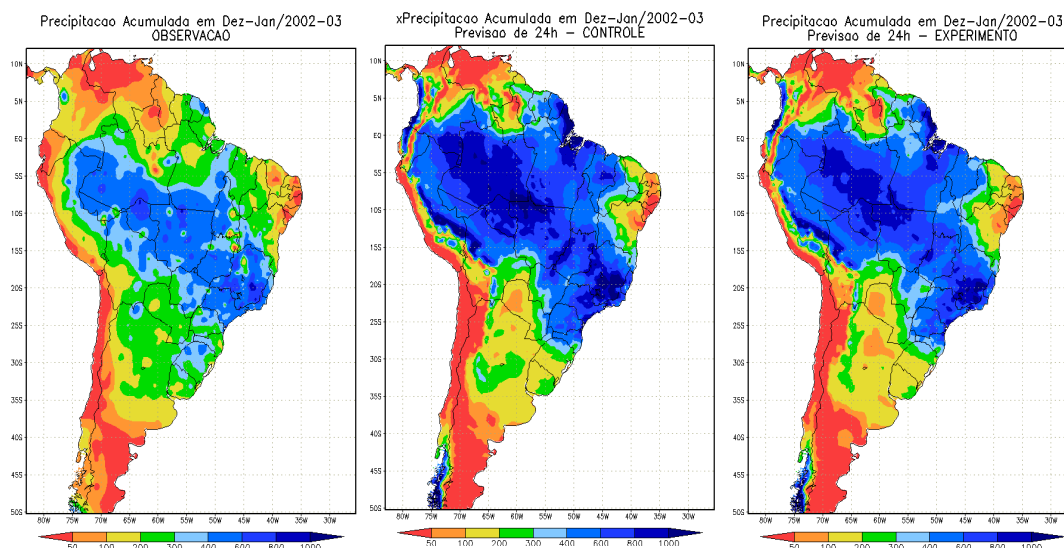


Figura 4 – Conteúdo de umidade do solo na zona de raízes para as regiões representadas no mapa central. Curvas em vermelho referem-se ao experimento e em azul ao controle. Valores em  $\text{mm}^3/\text{mm}^3$ .



### 3.2 Impacto da inicialização da umidade do solo na previsão de tempo

A Figura 5 mostra o resultado das previsões de 24, 48 e 72h da precipitação utilizando o modelo operacional de previsão de tempo Eta-OSU. Os mapas referem-se a precipitação acumulada para os meses de dezembro de 2002 a janeiro de 2003 prevista e observada. Nota-se que a superestimativa de precipitação que ocorre no controle diminui no experimento de forma mais eficiente na previsão das primeiras 24h, mas ainda a precipitação é superestimada, sobretudo na região Amazônica e na Região Sudeste. O padrão espacial da precipitação no controle e no experimento é bem semelhante, inclusive no Sul do Brasil onde há subestimativa. Para as previsões de 48h o experimento diminui a superestimativa de precipitação em praticamente todo o país. Há uma subestimativa maior no Sul do que mostra o controle. Ocorre subestimativa de precipitação no noroeste da região amazônica. Nas previsões superiores a 24h a redução do excesso de chuva tende a ser reduzido no experimento, isto pode está associado a tendência do modelo buscar seu próprio equilíbrio com as condições de fronteira, equilíbrio que é dependente das parametrizações físicas e dos erros associados a elas. Nos primeiros instante de previsão a dependência com relação as condições atmosféricas iniciais é maior e como a umidade do solo foi derivada tomando como base estas condições, o resultado sugere uma melhora da previsão nas primeiras 24h. Isto parece verdade apenas em condições de chuva intensa, como será visto adiante.



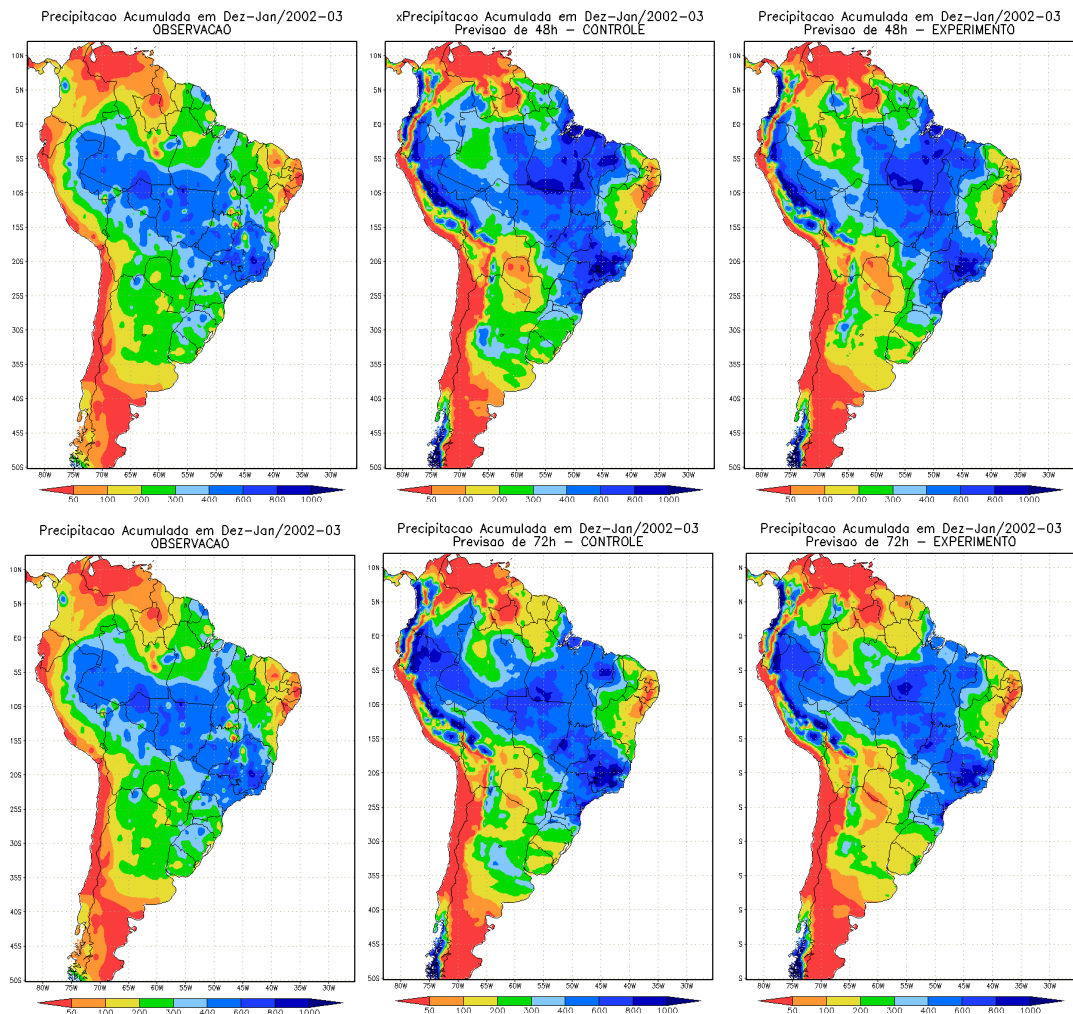


Figura 5 – Observação (à esquerda) e Previsão de 24h (superior), 48h (central) e 72h (inferior) da precipitação. Painéis à direita = experimento; Painéis centrais = controle (em mm).

Analisando a Figura 6, nota-se que para a Região Sudeste, a inicialização da umidade do solo fora das condições climatológicas contribuiu para reduzir o excesso de precipitação gerada pelo modelo no período de ZCAS entre 10 e 16 de dezembro de 2002. Todavia, analisando-se a Figura 7 nota-se que há uma melhoria significativa apenas neste período. Após o episódio de ZCAS o experimento segue praticamente a mesma tendência do controle, ou seja, não são observadas melhorias significativas, nem mesmo em janeiro, apesar de ter havido três períodos de ZCAS, sendo o primeiro entre o final de dezembro e a primeira semana de janeiro, o segundo entre 13 e 19 e o terceiro entre 25 e o início de fevereiro (Climanálise, jan/2003). Os resultados são semelhantes para as Regiões Centro-Oeste, Nordeste, Norte e Sul do Brasil (não mostrados aqui). Os resultados indicam que as maiores reduções na precipitação ocorrem principalmente sobre a região Amazônica e o Sudeste do Brasil. Nas outras áreas ocorrem igualmente reduções, mas bem menos significativas. A expectativa de melhoras para os outros casos de ZCAS não aconteceram possivelmente pelo fato da pouca intensidade e duração destes eventos que se sucederam. A decisão

natural é fazer mais investigações em outros eventos intensos e busca explicação física. Outros fatores como os feedbacks associados a radiação e cobertura de nuvens serão investigados.

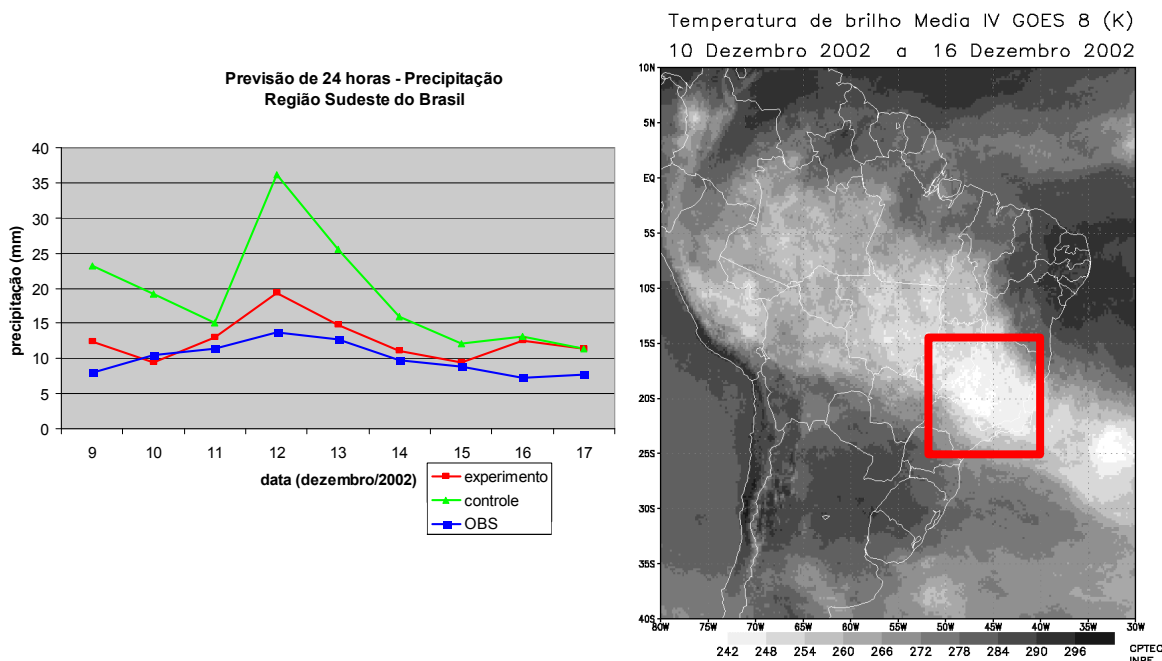


Figura 6 - Previsão de 24 h de precipitação (mm/dia) para a Região Sudeste (região delimitada na figura à direita) para o período de 9 a 17 de dezembro de 2002 (painel à esquerda). Linha azul refere-se à observação, verde ao controle e vermelha ao experimento. Resultados são apresentados para previsão de 24h. À direita, temperatura de brilho média obtida do satélite GOES-8 para o período de 10 a 16 de dezembro de 2002.

Para previsões com 48h e 72h de antecedência, em todas as Regiões do país os resultados não são tão claros quanto nas previsões de 24h. Na Figura 7 pode-se observar que para previsões de 48h, somente no período de atuação da ZCAS em dezembro há uma melhoria na representação da precipitação. No restante do período, a precipitação prevista no experimento é bastante semelhante ao controle. Todavia, na Região Norte os resultados não são tão claros. Nota-se que há uma melhoria mais significativa no início de janeiro.

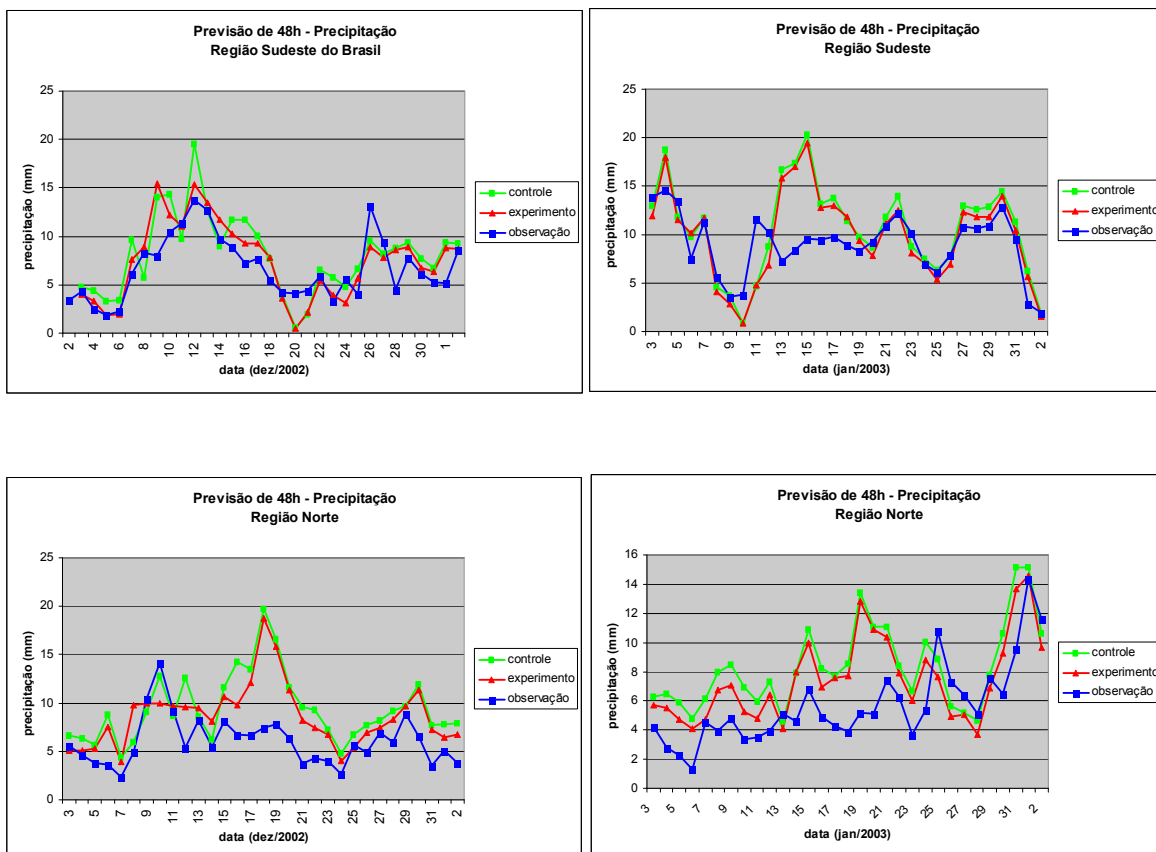


Figura 7 - Previsão de 48 h da precipitação total diária (em mm/dia) para as Regiões Sudeste (painéis superiores) e Norte do Brasil (painéis inferiores) para dezembro de 2002 (painéis à esquerda) e janeiro de 2003 (painéis à direita). Linha azul refere-se à observação, verde ao controle e vermelha ao experimento.

Em relação à temperatura (Figura 8), observa-se uma melhoria significativa no período de atuação da ZCAS em dezembro de 2002, ou seja, a temperatura da condição inicializada (experimento) mostrou-se mais próxima das observações do que no caso controle. Esta melhoria ocorre em todas as Regiões afetadas pelo episódio de ZCAS (não mostrado aqui). Em geral, a previsão na maioria das áreas mostrou aumento de temperatura associado ao menor conteúdo de água no solo. Observa-se também que o ciclo diurno foi melhor representado devido a redução da chuva, associada também a uma maior radiação incidente e um menor conteúdo de água no solo. Todavia, para previsões com prazo maior do que 24h os resultados não são tão claros (não mostrado aqui).

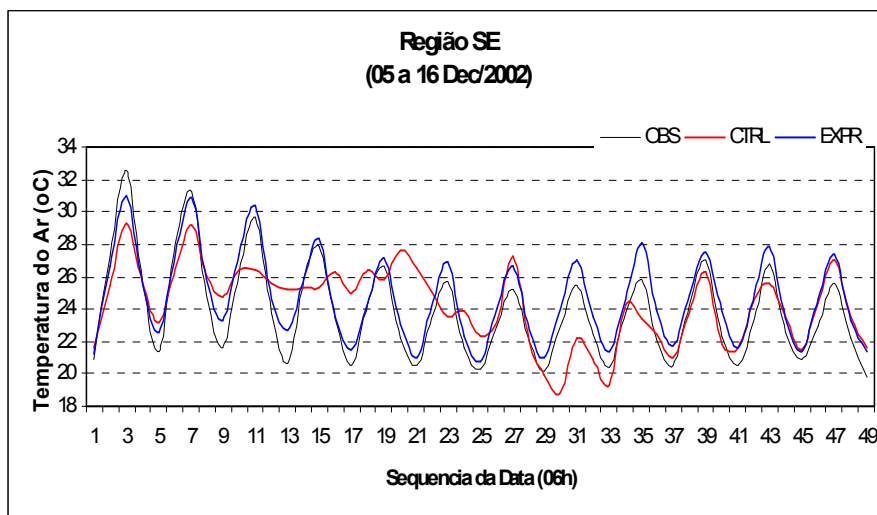


Figura 8 – Previsão de 24 h da temperatura do ar (°C) entre 5 e 16 de dezembro de 2002. Linha preta refere-se à observação, vermelha ao controle e azul ao experimento. Resultados são apresentados a cada 6h.

#### 4. CONCLUSÕES

- De modo geral, a inicialização da umidade do solo fora das condições climatológicas contribuiu para reduzir o excesso de chuva gerado pelo modelo, principalmente sobre a região Amazônica e Sudeste do Brasil. Nas outras áreas ocorrem igualmente reduções, mas bem menos significativas;
- A condição hídrica do solo mostrou-se menos úmida que a climatologia na maior parte das regiões, porém apresentando o sinal das chuvas relacionadas ao evento de ZCAS. Nas áreas áridas e semi-áridas, ao contrário, a condição hídrica do solo mostrou-se mais úmida que a climatologia;
- Na previsão de temperatura a maioria das áreas mostrou aumento de temperatura associado ao menor conteúdo de água no solo;
- Durante o período de ZCAS nas áreas afetadas, a temperatura da condição inicializada (experimento) mostrou-se mais próxima das observações do que no caso controle. O ciclo diurno foi melhor representado devido a redução da chuva, associada também a uma maior radiação incidente e um menor conteúdo de água no solo.
- Possivelmente o excesso de radiação solar incidente contribuiu para que não houvesse uma melhora sistemática na previsão de temperatura do ar após o evento de ZCAS.

## 5. REFERÊNCIAS

- Candido, L. A. **Impacto da condição inicial de água no solo na previsão de verão da América do Sul**. 2002-10-04. 224 p. (INPE-10477-TDI/931). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2002. Disponível na biblioteca digital URLib: <sid.inpe.br/jeferson/2004/04.20.10.28>. Acesso em: 15 abril 2004.
- Climanálise. **Boletim de monitoramento e análise climática**. CPTEC/INPE, Cachoeira Paulista, v.17, n.12, jan. 2003. Disponível em: <[http://tucupi.cptec.inpe.br /products/climanalise](http://tucupi.cptec.inpe.br/products/climanalise)>. Acesso em: 19 mar. 2004.
- Dirmeyer, P.A.; Dolman, A.J.; Sato, N. The Global Soil Wetness Project: a pilot project for global land surface modeling and validation. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.80, n.5, p851-878, 1999a.
- Dirmeyer, P.A. Assessing GCM sensitivity to soil wetness using GSWP data. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v.77, n.1B, p.367-385, 1999b
- Dirmeyer, P.A.; Tan, L. A multi-decadal global land-surface data set of state variables and fluxes. **COLA Technical Reports**, v.102, 43pp, 2001.
- Dirmeyer, P.A.; Zhao, M. Production and analysis of GSWP-2 near-surface meteorology data sets. **COLA Technical Reports**, v.159, 38pp., 2003.
- Entin, J.K.; Robock, A.; Vinnikov, K.Y.; Zabelin, V.; Liu, S.; Namkhai, A. Evaluation of global soil wetness project soil moisture simulations. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v.77, n.1B, p.183-198. 1999.
- Manabe, S. Climate and the ocean circulation, I: the atmospheric circulation and the hydrology of the Earth's surface. **Monthly Weather Review**, v.97, p.739-774, 1969.
- Manzi, A.O.; Planton, S. Implementation of the ISBA parameterization scheme for land surface processes in a GCM: an annual cycle experiment. **Jurnal of Hydrology**, v.155, p.355-389, 1994.
- Mintz, Y.; Walker, G.K. Global fields of soil moisture and land surface evapotranspiration derived from observed precipitation and surface air temperature. **Journal of Applied Meteorology**, v.32, p.1305-1334, 1993.

- Mintz, Y.; Serafini, Y.V. A global monthly climatology of soil moisture and water balance, **Climate Dynamics**, v.8, p.13-27, 1992.
- Mocko, D.M., Walker, G.K.; Sud, Y.C. New snow-physics to complement SSiB - Part II: effects on soil moisture initializations and simulated surface fluxes, precipitation and hydrology of GEOS II GCM. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v.77, n.1B, p.349-385, 1999.
- Sato, N.; Sellers, P.J.; Randall, D.A.; Schneider, E.K.; Shukla, J.; Kinter, J.L., Hou, Y.T.; Albertrazzi, E. Implementing the simple biosphere model in a general circulation model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.46, p.2757-2782, 1989.
- Willmott, C.J.; Rowe, C.M.; Mintz, Y. Climatology of the terrestrial seasonal water cycle. **Journal of Climatology**, v.5, p.589-606, 1985.