

UMA MELHORA NA FÍSICA DO MODELO DE BALANÇO HÍDRICO OPERACIONAL DO CPTEC/INPE

Daniel A. Rodriguez¹

Javier Tomasella¹

ABSTRACT

The operational model of soil moisture used by the Weather Forecast and Climate Research Center (CPTEC/INPE) has a limitation to represent processes close to saturation. A new formulation, able to represent the soil water dynamic when the soil storage is about field capacity, is presented in this work.

Model's simulations are validated using soil moisture data from sites of the Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA) in Rondonia.

RESUMO

O modelo de umidade no solo utilizado operacionalmente no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) apresenta uma limitação na representação dos processos próximos à saturação. O presente trabalho apresenta uma nova formulação capaz de simular a dinâmica da água no solo quando o armazenamento supera a capacidade de campo.

As simulações são validadas usando observações de umidade no solo obtidas pelo Experimento de Grande Escala na Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) em Rondônia.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas numerosos trabalhos têm mostrado a sensibilidade dos pronósticos de tempo e clima à inicialização dos campos de umidade no solo, e por tanto a importância de contar com informações confiáveis destes campos. (Dirmeyer, 2000; Zhang et al, 1999; Betts et al, 1994; Kunkel et al, 1995, Dirmeyer, 1994; U.S National Research Council, 1994; Fennessy et al; Oglesby, 1999; Delworth and Manabe, 1988, Walker and Rowntree, 1977). A umidade do solo é uma das

¹ Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – INPE –
Rodovia Presidente Dutra Km 40 CEP 12630-000
+55 12 3186 8563 / Fax: +55 12 3186 2835
dandres@cptec.inpe.br
javier@cptec.inpe.br

principais forçantes, junto com a temperatura da superfície do mar, controlando a partição da energia disponível em superfície entre o calor latente e o calor sensível.

Atualmente existem diferentes metodologias para a medição desta variável, mas a obtenção de dados observados em grandes superfícies, como ser para todo o Brasil, resulta cara e complicada. Existem, no entanto, métodos de estimativa da umidade do solo através de modelos de balanço, que utilizam dados meteorológicos na determinação das variáveis de entrada-saída e observações referentes a tipo e características dos solos para determinar os parâmetros hidrológicos do solo.

No CPTEC/INPE vem sendo utilizado em forma operacional um modelo de balanço hídrico que determina o campo de umidade para todo o Brasil (Rossato et al, 2002). O mesmo utiliza as informações disponíveis de precipitação e de evapotranspiração potencial, calculada a partir de variáveis meteorológicas. A determinação dos parâmetros do solo é feita utilizando-se de uma base de dados com as características texturais obtidas de perfis de solos espalhados por todo o Brasil. Estes parâmetros são obtidos com a aplicação de funções de pedo-transferencia (Tomasella et al., 2000). As funções de pedo-transferência, termo acunhado por Bouma e van Lanen (Tietje e Tapkenhinrichs, 1993), são relações matemáticas que vinculam a informação pedológica básica, tais com as contidas na Tabela 1, com informação de parâmetros hídricos utilizados em modelagem. A medição de parâmetros hídricos é dispendiosa e consome tempo, estando os dados disponíveis apenas em estudos muito específicos. Uma das melhorias incluídas nesta formulação do modelo refere-se à aplicação destas funções de pedo-transferencia. Foi utilizado um sistema de redes neuronais que, fazendo uso destas funções, estimaram pontualmente os valores dos parâmetros do solo.

Este trabalho mostra o desempenho de uma nova formulação do modelo de balanço utilizado no CPTEC/INPE. Dois melhoramentos foram realizados, em primeiro lugar a aplicação das funções de pedo-transferência foi realizada utilizando-se de redes neuronais, e em segundo lugar, foi incluída na física do modelo uma parametrização da drenagem profunda o que permite a simulação da dinâmica saturada do solo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Dados de solos

O banco de dados de solo existente no CPTEC permite parametrizar processos que controlam o armazenamento de água no solo. A figura 1 mostra a situação atual do banco. Cada ponto indica a localização de um perfil de solo, totalizando quase 8000 perfis descritos. Cada perfil de solos inclui informações básicas tais como tipo de solo, as classes de textura, a profundidade dos horizontes, a quantidade de carbono orgânico, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1: Descrição dos atributos dos solos considerados na base de dados.

Nº Perf.	Lat.	Long.	Alt.	Tipo Solo	Horiz	Prof. Inf.	Prof. Sup.	Calh	Casc.	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Argila nat.	E.U.	C
1	-16°24'	40°49'	70	LAa	A1	0	13	0	2	49	7	8	36	18	18	1.74
1	-16°24'	40°49'	70	LAa	A3	13	30	0	2	47	8	8	37	16	18	1.23
1	-16°24'	40°49'	70	LAa	B1	30	45	0	2	37	8	6	49	33	23	0.6
1	-16°24'	40°49'	70	LAa	B21	45	75	0	2	24	7	4	65	0	29	0.46
1	-16°24'	40°49'	70	LAa	B22	75	105	0	2	24	7	2	67	0	29	0.41
1	-16°24'	40°49'	70	LAa	B23	105	140	0	2	24	7	2	67	0	29	0.28
1	-16°24'	40°49'	70	LAa	B24	140	200	0	2	26	6	4	64	0	29	0.29
1	-16°24'	40°49'	70	LAa	B3	200	220	0	2	26	7	6	61	0	29	0.15

Localização dos perfis de solo

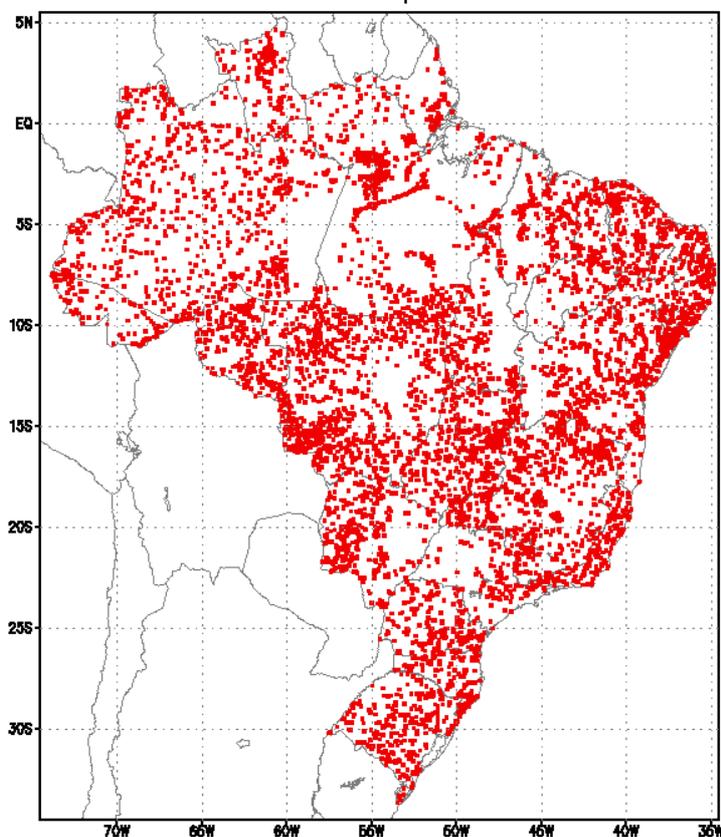


Figura 1: Localização dos perfis de solos do banco de dados.

A partir das informações de perfis de solos contidos na base de dados, usando a função de pedo-transferência desenvolvida por Tomasella et al., (2000), foi possível estimar os parâmetros hidráulicos de interesse para modelagem hidrológica tais como porosidade, água facilmente disponível, ponto de murcha permanente, condutividade hidráulica saturada e os parâmetros de Brooks-Corey.

A aplicação de funções de pedo-transferência permitem estimativas pontuais, válidas no ponto onde está localizado esse perfil. Devido a alta variabilidade espacial de solos (da ordem de centenas de metros), a densidade de informação existente não permite uma amostragem representativa dessa

variabilidade de solos. A fim de melhorar essa distribuição, foi desenvolvida uma metodologia de interpolação que incorpora conceitos pedológicos derivados dos mapas de solo. O mapa de solos define, através de critérios pedológicos, agrupamento da informação pontual dos perfis de solo, incorporando conceitos de distribuição espacial necessários para modelagem distribuída.

A figura 2 mostra as principais associações de solos derivados do mapa de solos do Brasil (Embrapa, 1980) em resolução 0,05 graus. Os perfis de solos da figura 1 foram agrupados de acordo com as manchas definidas pela figura 2, e foram usadas técnicas de interpolação kriging em cada mancha, de maneira a representar a variabilidade espacial dentro de cada mancha. Através desta metodologia, a interpolação não é apenas um processo matemático senão que incorpora processos físicos interpretados pelo pedólogo. A modo de exemplo, mostramos a interpolação em resolução 0.05 graus da capacidade máxima de armazenamento disponível (CAD) para o primeiro metro de perfil de solo (Figura 3).

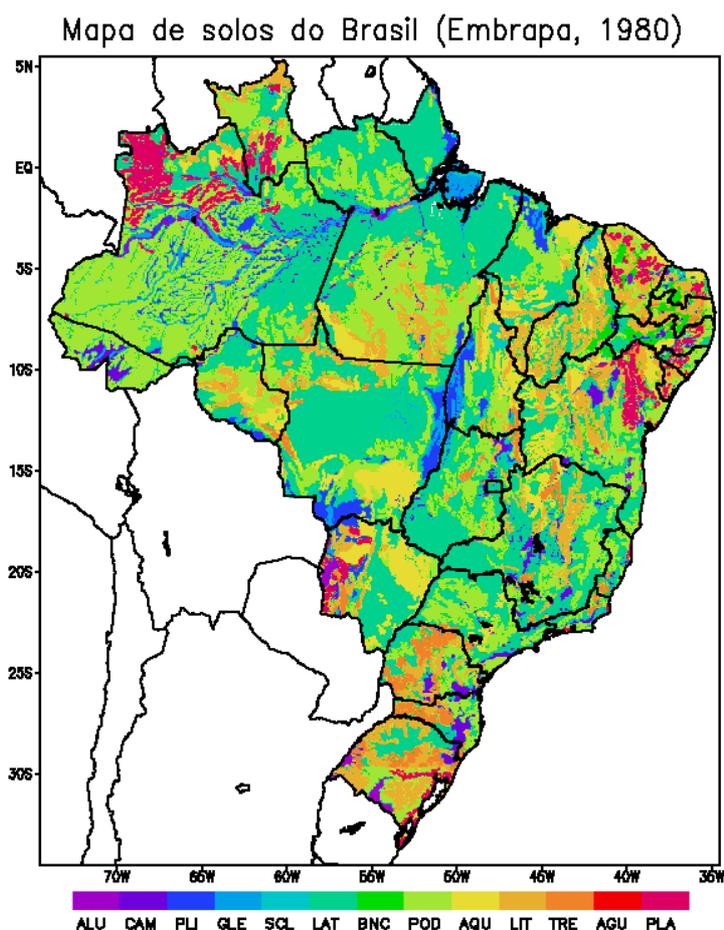


Figura 2: Mapa de solos do Brasil, identificando os grandes grupos de solo, onde:

- ALU-Aluviais**
 - CAM-Cambissolos**
 - PLI-Plintossolos**
 - GLE-Gleis indiscriminados**
 - SCL-Concrecionários**
 - LAT-Latossolos**
 - BNC-Brunos não cálcicos**
 - POD-Podzólicos**
 - AQU-Areias quartzosas**
 - LIT-Litossolos**
 - TRE-Terras Roxas**
 - AGU-Água**
 - PLA-Planossolos**
- (Fonte: Embrapa, 1980)

O aspecto mais importante desta metodologia refere-se a preservação das condições particulares dos solos que ocorrem na planície de inundação dos rios (o que é mais evidente na planície de inundação do Rio Amazonas), e que tem grande importância no funcionamento hidrológico do sistema. A simples interpolação matemática, seguindo metodologias tradicionais,

não permite preservar essas características diferenciadas, pois a planície de inundação cobre uma área não significativa da bacia em relação a toda a área de drenagem.

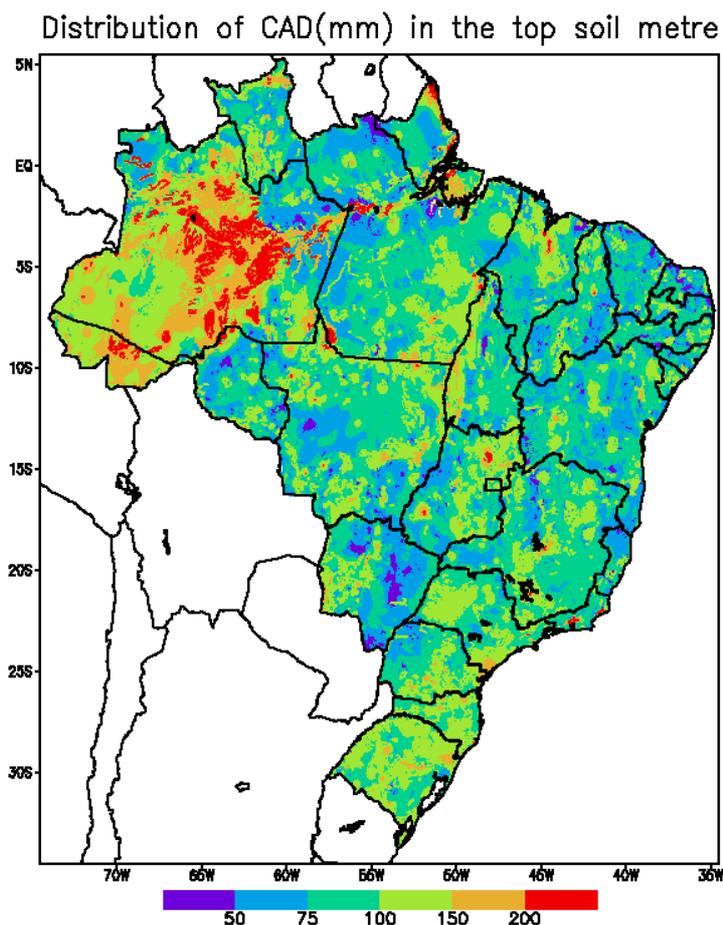


Figura 3: Capacidade máxima de armazenamento de água no solo – CAD em mm no metro superior de solo estimada usando a função de pedo-transferência proposta por Tomasella et al. (2000).

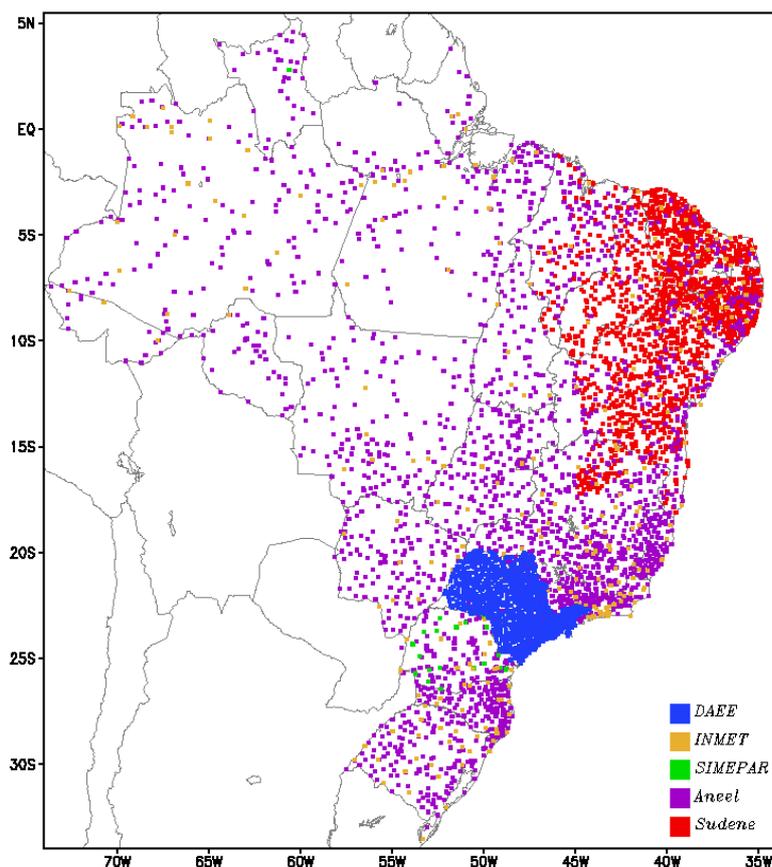
Precipitação

Foram utilizadas series de precipitação observada correspondentes a DAE, INMET, SIMEPAR, Aneel e Sudene. A figura 4 mostra a distribuição espacial dos postos pluviométricos (em operação período 1981-1990) que hoje conformam a base de dados de precipitação.

Os dados de precipitação receberam um tratamento cuidadoso, a fim de garantir: (i) uma cobertura espacial tão densa quanto possível; (ii) a qualidade da informação.

A partir dessa informação básica, foram criados dados em ponto de grade 0.25x0.25 graus de precipitação diária, para serem utilizadas na alimentação do modelo de balanço de água.

Figura 4: Rede pluviométrica e desenvolvimento (média do período 1980-1990). Nos períodos de maior quantidade de informações, foram utilizados até 4000 estações para geração de mapas de precipitação em grade.



Evapotranspiração

Os campos de evapotranspiração potencial, utilizados na alimentação do modelo, foram obtidos a partir de dados meteorológicos observados. Foram utilizados dados sinópticos, provenientes do INMET, correspondentes a radiação, temperatura, ponto de orvalho, ventos e nebulosidade. Também utilizaram-se dados provenientes do Cemig, Simepar e de PCDs do INPE.

Com os dados meteorológicos foram calculados os valores pontuais da evapotranspiração potencial para depois serem interpolados, através de um método krigging, obtendo-se os campos numa grade de 0.25x0.25 para todo o Brasil.

Dados observados de umidade do solo

Com a finalidade de ter uma comparação dos resultados do modelo, foram utilizados dados observados de umidade do solo correspondentes as torres meteorológicas localizadas na Reserva Biológica Jarú , no período 17/04/1999 até 27/09/02, e na Fazenda Nossa Senhora, no período 29/03/1999 até 27/01/03, no estado de Rondônia. Os dados foram coletados pelo Experimento de Grande Escala na Biosfera-Atmosfera na Amazônia.

Modelo de Balanço Hídrico no solo

O modelo de balanço desenvolvido considera a precipitação (P) como uma entrada no sistema, a partir dos campos interpolados, A evapotranspiração real (ETR) foi calculada em forma lineal a partir da evapotranspiração potencial (ETP) e utilizando o conteúdo de umidade atual no solo (S) e o conteúdo de umidade crítico (AFD) (água facilmente disponível), de acordo com a equação 1. A partir da ETR é calculada uma primeira variação no armazenamento segundo a equação 2

$$\begin{cases} ETR = \frac{S}{AFD} ETP & S < AFD \\ ETR = ETP & S \geq AFD \end{cases} \quad (1)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = P - ETR \quad (2)$$

Nesta nova versão do modelo foi tida em conta a dinâmica de saturação do solo através do cálculo da drenagem profunda, desta forma é calculada também a variação no armazenamento correspondente, de acordo com a equação 3 onde K_s é a condutividade hidráulica saturada, S_{max} a capacidade de armazenamento máximo do solo e η o parâmetro de Brooks-Corey.

$$\frac{\partial S}{\partial t} = K_s \left(\frac{S}{S_{max}} \right)^\eta \quad (3)$$

A soma destas duas variações conformam a variação total no armazenamento. Quando o armazenamento resultante supera a capacidade de armazenamento máxima de solo (S_{max}), é considerada a geração de um excesso (EXC_{sat}) ajustando o valor do armazenamento ao valor da capacidade máxima como mostra a equação 4

$$S > S_{max} \Rightarrow \begin{cases} EXC_{sat} = S - S_{max} \\ S = S_{max} \end{cases} \quad (4)$$

A este valor de excedentes originados pela saturação do solo é agregada a lâmina correspondente à drenagem profunda (EXC_{dp}), calculada segunda a equação 3, para obter os excedentes totais do modelo (EXC), como mostra a equação 5.

$$EXC = EXC_{sat} + EXC_{dp} \quad (5)$$

Os campos de umidade do solo obtidos correspondem a valores por cima do ponto de murcha permanente, ou seja ao intervalo correspondente à água útil para as plantas mas o intervalo correspondente à existência de água gravitacional.

Utilizando os dados de precipitação e de evapotranspiração potencial disponíveis, foi realizada uma rodada do modelo de 1839 dias, desde 01 de Janeiro de 1999. A condição inicial utilizada foi a mesma utilizada numa rodada da mesma extensão feita com a formulação anterior do modelo (Fig. 5), a fim de observar as melhorias introduzidas.

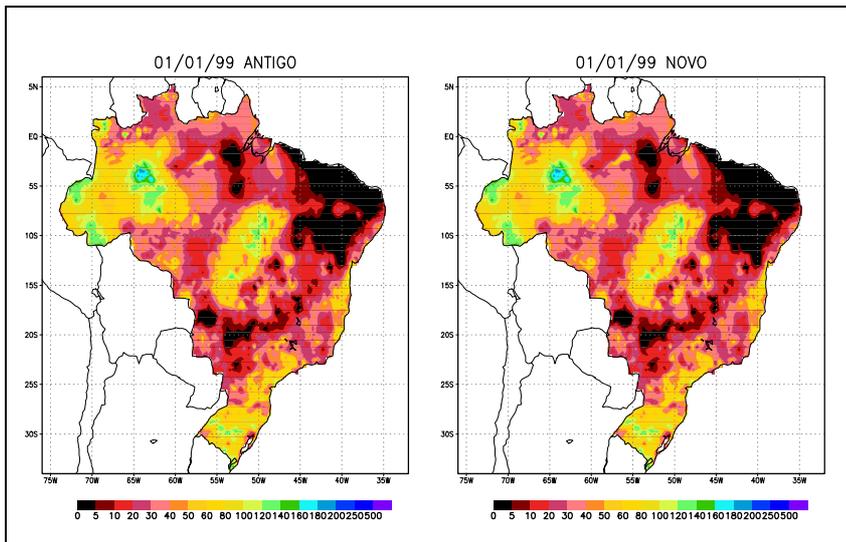


Figura 5: Condição inicial utilizada nas simulações

RESULTADOS OBTIDOS

Na figura 6 são mostrados os campos de evapotranspiração potencial e de precipitação utilizados para alimentar o modelo, assim como os resultados obtidos e comparados com o estado anterior de umidade no solo. Os campos resultantes mostram ser coerentes com o acontecido com a precipitação e a evapotranspiração.

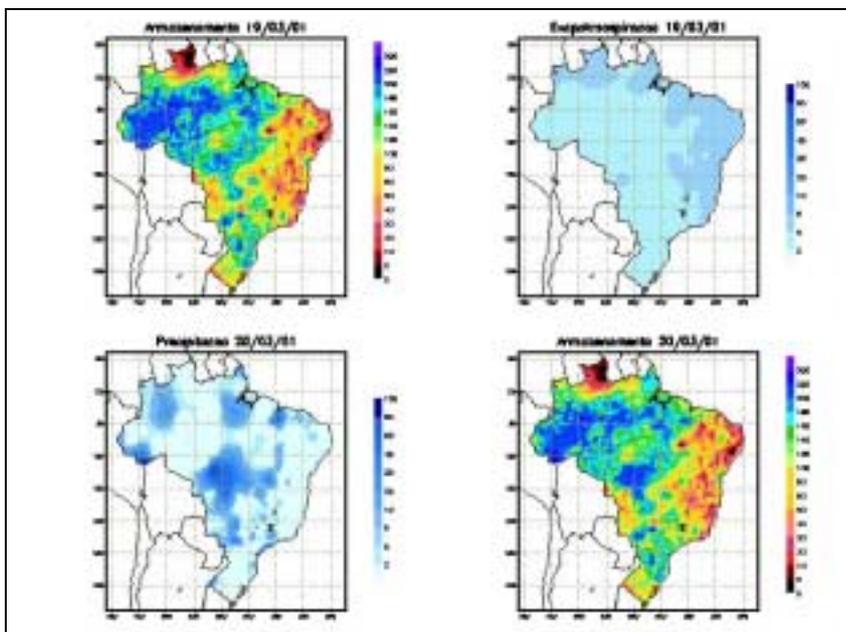


Figura 6: Estado de umidade antecedente, evapotranspiração do dia anterior, precipitação atual e campo de umidade resultante

Os campos obtidos com a nova versão mostram um maior conteúdo de umidade nas regiões de maior precipitação como a região Amazônica, a região de ZCAS e no Sul do Brasil, principalmente (Fig. 7). Os novos campos também mostraram alguns pontos de menor conteúdo de umidade respeito dos antigos, sistematicamente localizados sobre o Amazonas, região central e litoral Norte do Brasil. Estas diferenças podem ser devida basicamente a diferenças nos parâmetros estimados com a nova metodologia.

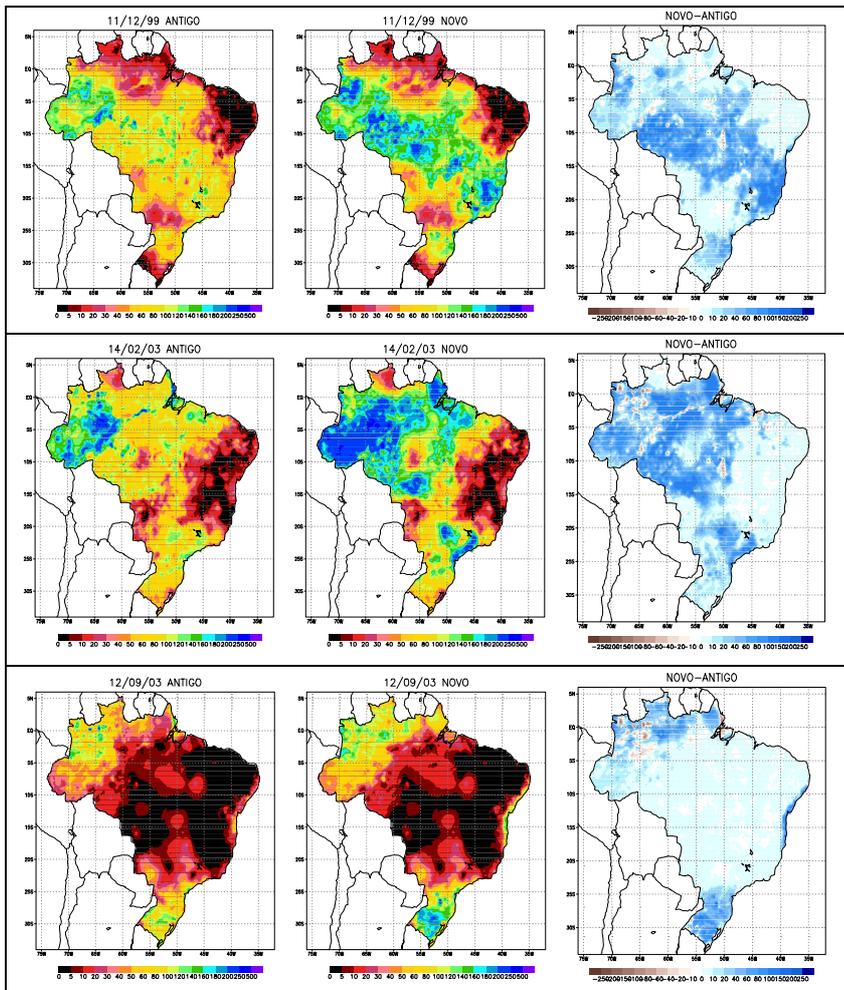


Figura 7: Comparação entre os campos obtidos com a antiga e a nova formulação do modelo

A comparação dos resultados obtidos com o modelo e das observações na Reserva biológica Jarú - RO, 10° 05' S 61° 55' W, (Fig. 8) e na Fazenda de Nossa Senhora - RO, 10° 46' S 062° 20' W, (Fig. 9), mostram um bom ajuste do modelo. Em ambos casos a nova formulação do modelo mostra um melhor ajuste dos valores correspondentes à dinâmica saturada no solo.

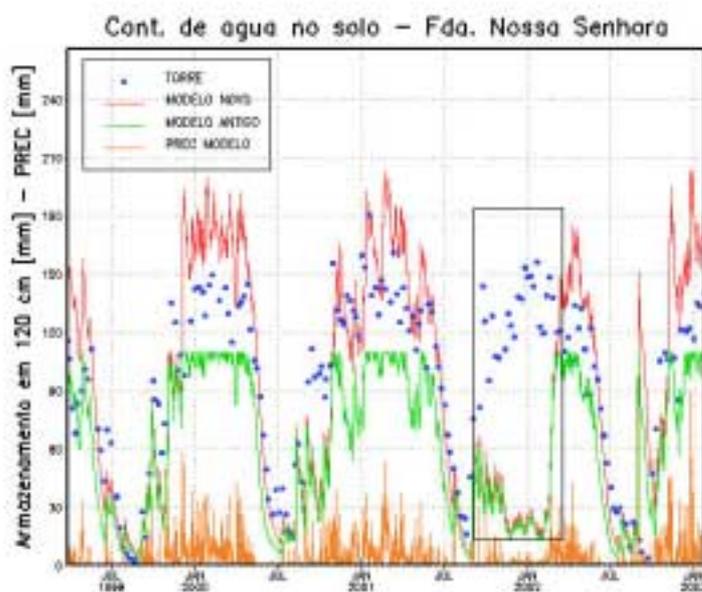


Figura 8: Comparação dos valores observados na torre da Fazenda Nossa Senhora e os resultados do modelo

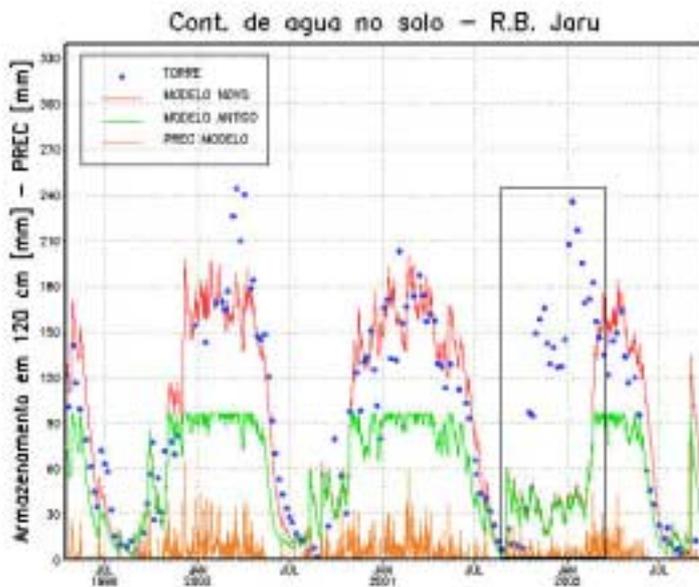


Figura 9: Comparação dos valores observados na torre da Reserva Biológica Jarú e os resultados do modelo

O modelo apresenta uma grande sensibilidade à falta, ou erros, de informação. As diferenças notadas dentro do retângulo nas figuras 8 e 9 são explicadas pelas diferenças entre a precipitação utilizada no modelo e a precipitação observada em ambas torres (Fig. 10 e 11). Deve-se notar que os dados de precipitação destas torres não foram utilizados na obtenção dos campos de precipitação.

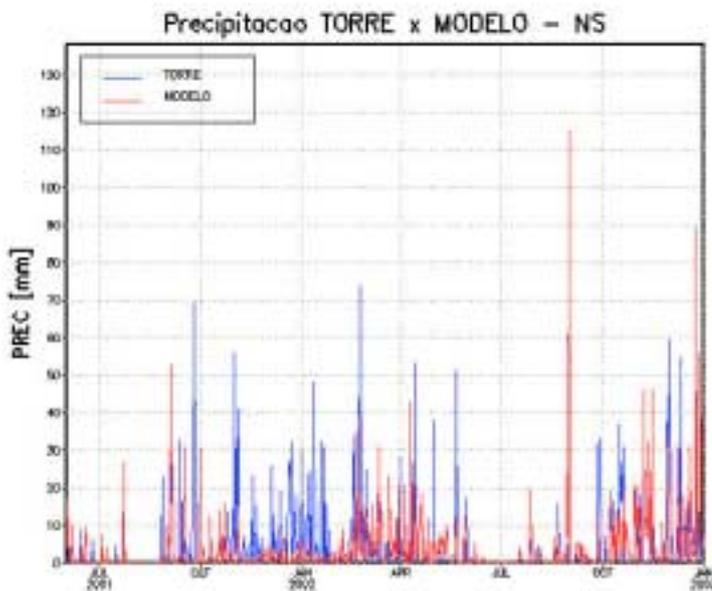


Figura 10: Comparação entre os valores de precipitação observada na torre da Fazenda Nossa Senhora (NS) e dos valores utilizados pelo modelo

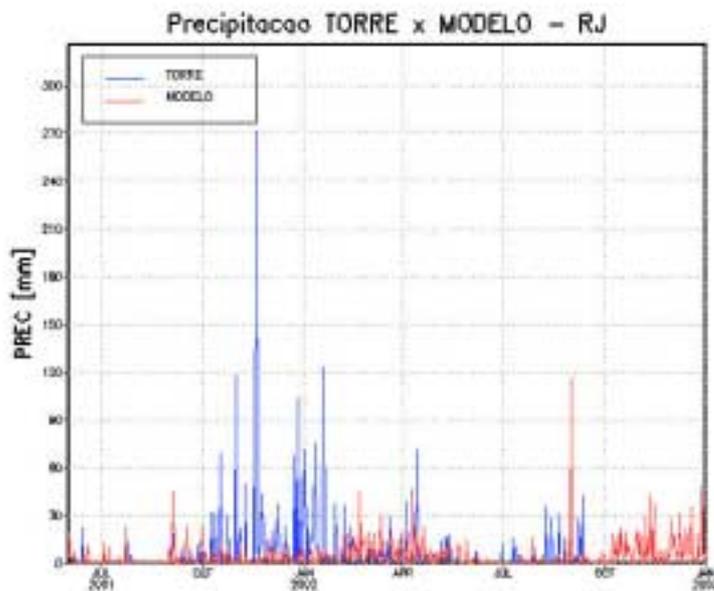


Figura 11: Comparação entre os valores de precipitação observada na torre da Reserva Biológica Jarú (RJ) e dos valores utilizados pelo modelo

CONCLUSÕES

O modelo de balanço hídrico no solo mostra um bom comportamento, os campos de umidade do solo obtidos correspondem com o acontecido no campo da precipitação. A avaliação da resposta pontual do modelo, comparando-a com series de observações em torres meteorológicas também tem mostrado um ajuste razoável.

Por outro lado a formulação atual do modelo permite uma melhor simulação da dinâmica saturada, quando os valores de umidade no solo superam aos da capacidade de campo. Isto melhora a representação dos campos de umidade no solo em regiões de altas precipitações.

Uma limitação importante neste trabalho de validação do modelo é a pouca disponibilidade de dados observados para levá-lo adiante. Atualmente estão sendo instaladas uma serie de PCDs no território brasileiro que forneceram informações de umidade de solo a diferentes profundidades. Estes dados ajudaram a realizar um estudo mais detalhado do comportamento do modelo nas diferentes regiões brasileiras.

***Agradecimentos:** Os autores agradecem ao Experimento de Grande Escala na Biosfera-Atmosfera na Amazônia pela disponibilidade dos dados de umidade no solo.*

*Os resultados apresentados neste trabalho fazem parte do Projeto de pesquisa, solventado por fundos da FAPESP, **Um modelo hidrológico simples para estimar umidade do solo e escoamento em bacias de macroescala**, Processo 99/00394-0*

BIBLIOGRAFIA

Walker, J.M. and Rowntree, 1977 The effect of soil moisture on circulation and rainfall in a tropical model. **Quarterly Journal of Royal Meteorology Society**. V 103, p. 29-46.

Betts, A.K., Ball, J.H., Beljaars, A.C., Miller, M.J. and Viterbo, P. 1994 Coupling between land surface, boundary layer parametrizations and rainfall on local and regional scales: Lesson from the wet summer of 1993. **Fifth Conference on Global Change Studies, American Meteorological Society**, 74th Annual Meeting. Nashville, Jan 23-28.

Kunkel, K.E., Changnon, S.A., Angel, J.R., 1995. Climate aspects of the 1993 upper Mississippi River basin flood. **Bulletin of American Meteorological Society**. V. 75, p. 811-822.

Dirmeyer, P.A. 1994. Vegetation stress as a feedback mechanism in midlatitude drought. **Journal of climate** v. 7, p. 1463-1483.

Fennessy, M.J., Kinter III, J.L., Marx, L., Schneider, E.K., Sellers, P.J. and Shukla, J., 1994. GCM Simulations of life cycles of the 1998 U.S. drought and heat wave. **COLA report 6**, Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies, Calverton, MD, pp. 68.

Oglesby, R.J., 1991, Springtime soil moisture, natural climate variability, and North America drought as simulated by the NCAR Community model 1. **Journal of climate** v. 4, p. 890-897.

Delworth, T.L. and Manabe, S., 1988., The influence of soil wetness on near surface atmospheric variability. **Journal of Climate** v. 2, p. 1447-1462.

Dirmeyer, P. 2000. Using a Global Soil Wetness Dataset to Improve Seasonal Climate Simulation. **Journal of Climate** v. 13. P. 2900-2921

U.S. National Research Council, 1994. GOALS Global Ocean-Atmosphere-Land System for predicting seasonal-to-interannual climate. **National Academy Press** pp. 103.

Zhang, C., Dazlich, D.A. and Randall, D.A., 1999. Simulations of Soil moisture and surface water balance using Simple Biosphere Model 2. **Journal of the Meteorological Society of Japan** v. 77, N° 1B, pp. 217-234.

Rossato, L., Alvalá, R.C. and Tomasella, J., 2002 . Climatologia da umidade do solo no Brasil- XII Congresso Brasileiro de Meteorologia – Foz do Iguaçu.

Tomasella, J., M.G. Hodnett, L. Rossato. 2000. Pedo-transfer functions for soil water retention in Brazilian soils. *Soil Science Society of America Journal*. Jan-Fev 2000.

Tietje, O. and Tapkenhinrichs, M. 1993. Evaluation of pedo-transfer functions. **Soil Science Society of America Journal**. N° 57, v. 4, p. 1088-1095.