



Calibração de um modelo de umidade para um solo aluvial sem cobertura vegetal¹



Eduardo C. B. de Araújo², José V. de Aguiar³ & Raimundo N. T. Costa³

¹ Parte da Dissertação de Mestrado apresentada pelo primeiro autor à UFC

² Rua Silva Paulet, 3294, CEP 60120-021, Fortaleza, CE. Fone: (85) 227 3097. E-mail: edcesararaujo@hotmail.com (Foto)

³ DENA/CCA/UFC, Campus do Pici, Bloco 804, CEP 60455-760, Fortaleza, CE. Fone: (85) 288 9758, E-mail: jvaguair@ufc.br e rntcosta@ufc.br

Protocolo 147 - 5/12/2000

Resumo: O presente trabalho foi conduzido na região semi-árida em solo aluvial eutrófico, em área irrigada da Fazenda Experimental Vale do Curu, pertencente à Universidade Federal do Ceará. O experimento se desenvolveu no período de 4/10/99 a 10/3/00, mantendo-se o solo sem vegetação, com objetivo de calibrar o modelo de umidade do solo para atividades agrícolas (MUSAG) e determinar os parâmetros associados às funções que compõem o modelo (infiltração, percolação e evaporação). A calibração consistiu em se medir a umidade no solo, na profundidade de 0 a 0,30 m, com uma sonda de nêutrons, e comparar essas medidas com a umidade no solo estimada pelo modelo parametrizado. O MUSAG permitiu valores estimados de armazenamento hídrico, estatisticamente não diferentes dos valores determinados pela sonda de nêutrons para a profundidade de 0 - 0,30 m. O modelo apresentou resultado menos satisfatório para estimativa da umidade em períodos com maior frequência de precipitação, seguindo a tendência dos valores observados, porém subestimando-os.

Palavras-chave: modelo, umidade do solo, sonda de nêutrons

Calibration of a soil moisture model for an alluvial soil without vegetable cover

Abstract: This work was carried out at the Experimental Farm of the Universidade Federal do Ceará, Curu River Valley, in the State of Ceará, Brazil, from October 4, 1999 to March 10, 2000, to calibrate, under field conditions, the so called soil moisture model for agricultural activities (MUSAG) determining the parameters associated to the model functions (infiltration, percolation and evaporation). The measurements of soil water storage were done with a neutron probe, and compared with that predicted by the model. The MUSAG provided values of storage water, statistically not different from the values determined by the neutron probe for the depth of 0 - 0,30 m. The model did not provide reasonable estimates of the soil moisture during periods with larger precipitation frequency, however, the predictions followed the tendency of the observed values, but underestimating them.

Key words: model, soil water, neutron probe

INTRODUÇÃO

A agricultura de subsistência, geralmente milho e feijão, é a atividade econômica mais importante no Nordeste brasileiro e a má distribuição das chuvas ao longo do ano é o principal obstáculo para a produção agrícola. As culturas de subsistência são, em geral, estabelecidas em várzeas, com semeadura após as primeiras chuvas. Muitas vezes esta semeadura é perdida quando as plântulas morrem, por falta de água, devido à distribuição irregular da chuva e à ausência de água armazenada no perfil do solo (Antonino et al., 2000).

A importância da umidade no solo em sistemas agrícolas foi reconhecida há bastante tempo. O crescimento das plantas

e a produtividade das culturas talvez estejam mais proximamente relacionados com a umidade no solo que qualquer outro elemento meteorológico isolado, inclusive a chuva (Baier & Robertson, 1968). O conhecimento do regime de umidade no solo se reveste de grande importância no fornecimento de informações destinadas a resolver problemas, como manejo de irrigação, escolha da época de plantio, determinação do consumo de água pelas plantas, estudo dos processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera e planejamento dos sistemas de drenagem. Em áreas onde a disponibilidade de água no solo se torna problemática em termos quantitativos, o monitoramento hídrico do solo adquire maior significância. Na região do

semi-árido nordestino os déficits hídricos ocorrem com bastante frequência, colocando em risco a produção das culturas anuais, em grande parte em regime de sequeiro, onde a adequação da época de plantio a nível de umidade favorável à germinação das sementes é fundamental (Aguiar, 1997).

Em face dessa exigência crescente e com o avanço da ciência computacional, a técnica da modelagem apresentou, nas duas últimas décadas, um grande desenvolvimento, com a sua utilização cada vez mais presente na busca de soluções para os problemas hidrológicos.

O projeto intitulado “Calibração do Modelo de Umidade do Solo para Atividades Agrícolas (MUSAG) para um Solo Aluvial Eutrófico”, nasceu da necessidade de se calibrar o modelo criado originalmente por Molina & Andrade (1993) para se estimar a umidade no solo em 160 localidades do Estado do Ceará, utilizando-se a rede estadual de postos pluviométricos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

A utilização do MUSAG tem sido obrigatória no planejamento e execução do programa de distribuição de sementes selecionadas do Governo do Estado do Ceará, denominado “Programa Hora de Plantar”.

Os parâmetros de entrada do modelo original foram obtidos a partir de levantamentos exploratórios, agrupamento de tipos de solo e dados da relação chuva/vazão das bacias hidrográficas, revelando a adoção de um caráter bem generalizado e compreensível, face à pequena disponibilidade de dados necessários e suficientes para o processo de validação (Aguiar, 1997).

O presente trabalho tem como objetivo calibrar o MUSAG, de acordo com a modificação proposta por Aguiar et al. (1998) para um solo aluvial, em condições semi-áridas do Estado do Ceará.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição do modelo

O MUSAG (modelo de umidade do solo para atividades agrícolas) utiliza, basicamente, a equação do balanço hídrico, para o intervalo de 1 dia, descrito da seguinte forma, segundo Molina & Andrade (1993).

$$\text{Arm}_f = \text{Arm}_i + \text{Inf} - q - \text{Ev} \quad (1)$$

$$\text{Esc} = \text{Ppt} + \text{Irr} - \text{Inf} \quad (2)$$

em que: Arm_f e Arm_i são os armazenamentos final e inicial do solo no intervalo de 1 d, em mm; Inf é a lâmina infiltrada, em mm; q é a lâmina percolada ou drenada, em mm; Ev é a lâmina evapotranspirada e, uma vez que o modelo foi desenvolvido para solos sem cobertura vegetal, Ev é equivalente à lâmina evaporada do solo, em mm; Esc é a lâmina escoada superficialmente, em mm; Ppt é a precipitação ocorrida durante o dia anterior, em mm, e Irr é a irrigação durante o dia anterior, em mm.

As variáveis infiltração (Inf) e percolação (q) são avaliadas com base nas características do solo e na quantidade de água disponível em um conteúdo de umidade no solo, representado por θ , que é a umidade no solo na base volumétrica, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Essas funções segundo Molina & Andrade (1993) são representadas pelas seguintes equações:

$$i = i_f + (i_0 + i_f) \left(\frac{CC - \theta}{CC} \right)^\alpha \quad (3)$$

$$q = i_f \left(\frac{\theta}{CC} \right)^\beta \quad (4)$$

para $0 \leq \theta \leq CC$, donde i é a capacidade de infiltração do solo, em mm d^{-1} ; i_f é velocidade de infiltração da água no solo, na condição de “steady-state”, em mm d^{-1} ; i_0 é a capacidade máxima de infiltração do solo, em mm d^{-1} , partindo da situação mais seca possível; CC é a umidade existente na parcela, cessada a percolação, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$; θ é o estado atual de umidade no solo, em mm; q é a capacidade de drenagem interna, em mm; α e β são parâmetros de ajuste da variável infiltração e da percolação com a umidade no solo, respectivamente.

Para a avaliação da evaporação, além das características do solo e umidade disponível, são consideradas, também, as condições climáticas representadas pela evapotranspiração de referência, obtida a partir de dados de evaporação medida em Tanque Classe A (Molina & Andrade, 1993), conforme a equação seguinte:

$$\text{Ev} = \text{ET}_0 \left(\frac{\theta}{kCC} \right)^\gamma \quad (5)$$

para $0 \leq \theta \leq kCC$. Se $CC \geq \theta > kCC$, $\text{Ev} = \text{ET}_0$ em que: Ev é a evaporação real, em mm d^{-1} ; ET_0 é a evapotranspiração de referência, em mm d^{-1} ; k é um coeficiente cujo valor varia de 0 a 1, e que indica a umidade no solo a partir da qual a evapotranspiração ocorre em nível potencial, e γ é um parâmetro indicativo da variação de Ev com a umidade no solo (Andrade, 1995).

Aguiar et al. (1998) testaram e calibraram o MUSAG em um solo Bruno Não-Cálcico, na Fazenda Experimental do Vale do Curu (FEVC) município de Pentecoste, Estado do Ceará. A partir deste trabalho e para melhor desempenho do modelo e coerência com os postulados da teoria da infiltração, foi recomendada a substituição da capacidade de campo (CC) originalmente utilizada na estimativa da infiltração, percolação e evaporação, pela umidade de saturação (θ_0).

A operação do modelo, para o cálculo do armazenamento diário da umidade do solo, pode ser entendida considerando-se as seguintes etapas:

1. a partir da umidade medida em certo dia (θ_i), é calculada a capacidade de infiltração do solo (i_i), pela Eq. (3);
2. admitindo que ocorra uma precipitação (P) e que o seu volume infiltre totalmente, soma-se à θ_i o total da precipitação ocorrida no intervalo de tempo i a $i+1$ (1 d), obtendo-se θ_{i+1} ;

3. com base no valor de Arm_p , é calculada a nova capacidade de infiltração do solo i_{i+1} ;

4. se $i_i > P$ e $i_{i+1} > P$, não haverá escoamento e θ_{i+1} será calculada pela Eq. (1), donde q e Ev são calculados pelas Eqs. (4) e (5) respectivamente, utilizando-se os valores médios de θ_i e θ_{i+1} ; e

5. nos demais casos, o valor de i_i é calculado por processo iterativo até o alcance da convergência dos valores de i_{i+1} e θ_{i+1} , sendo Arm_f atualizado pela Eq. (1), incorporando-se os valores de q e Ev calculados de forma idêntica à anterior.

Considerando as dificuldades de se medir a umidade no solo em todos os municípios em determinado dia, os autores do MUSAG original, conforme cita Aguiar (1997) escolheram o dia 1^o de outubro de cada ano para inicializar o modelo assumindo, para este dia, um $\theta_i = 0$, para todo o Estado do Ceará, pelo fato dos meses de setembro e outubro serem os mais secos do ano.

Na estimativa da capacidade máxima de infiltração do solo (i_0) utilizou-se um conjunto de cilindros infiltrômetros concêntricos, com 0,17 e 0,26 m de diâmetro, enterrados no solo, aproximadamente a 0,10 m, devidamente nivelados. Realizaram-se 17 testes de infiltração, em área de 15 m², inicialmente com o solo na condição mais seca possível, sendo o solo posteriormente saturado e realizados outros testes, acompanhando-se a depleção da umidade no solo.

Os testes já citados geraram 17 pares de dados de lâmina infiltrada (mm) em função da umidade no solo θ (cm³ cm⁻³). Esses pares foram utilizados na determinação da equação de infiltração, como função da umidade no solo, através de análise de regressão. A partir do modelo gerado, pôde-se estimar i_0 ; Skaggs et al. (1969) sugerem que α pode ser tomado como uma constante igual a 1,4 para todos os tipos de solo. Na estimativa de i_f foi necessário estabelecer-se a equação de percolação ajustada para a camada superficial, enquanto para a drenagem profunda (q) utilizou-se a equação de Darcy-Buckingham. Com os valores de umidade no solo e dos gradientes de potencial hidráulico ao longo do período experimental, obtiveram-se os valores das perdas por percolação profunda (q), plotando-se os valores de $\log q$ (sem se considerar ascensão capilar) versus $\log(\theta/\theta_0)$ através de regressão linear (Aguiar et al., 1998), na forma:

$$\log q = \log i_f + \beta \log \left[\frac{\theta}{\theta_0} \right] \quad (6)$$

em que: β é o coeficiente angular da equação; i_f é a velocidade de infiltração da água no solo, na condição de "steady-state", em mm d⁻¹ e θ_0 é a umidade de saturação no solo para a profundidade estudada, em cm³ cm⁻³.

Para subsidiar as estimativas da evapotranspiração de referência (ET_0) foram instalados, na área da pesquisa, um Tanque Classe A e um anemômetro de canecas, a 0,45 m de altura, sobre o estrado de madeira do Tanque Classe A. Os dados de umidade relativa do ar e de precipitação foram obtidos na Estação Meteorológica da FEVC, localizada a 1,0 km da área experimental.

As leituras do anemômetro e do Tanque Classe A foram obtidas diariamente, às 9:00 h, e corrigidas em função da umidade relativa do ar, da velocidade do vento e das condições de exposição do tanque, para obtenção da ET_0 (Doorenbos & Pruitt, 1977). As medidas da precipitação pluviométrica foram realizadas diariamente, às 15:00, 21:00 e 9:00 h.

Para a determinação de k e γ na Eq. (5) plotaram-se os dados de $\log Ev$ versus $\log(\theta/\theta_0)$ para cada profundidade, obtendo-se a equação:

$$\log Ev = \log \frac{ET_0}{k^\gamma} + \gamma \log \left[\frac{\theta}{\theta_0} \right] \quad (7)$$

Os valores de Ev foram obtidos por meio do balanço hídrico nos dias sem chuva e sem irrigação, segundo a equação:

$$Ev = Arm_{i-1} - Arm_i \quad (8)$$

em que: Arm_i é o armazenamento no perfil vertical no dia i em milímetros e Arm_{i-1} é o armazenamento no dia anterior, em mm.

Caracterização da área da pesquisa

O trabalho foi conduzido na área irrigada (AT1) da Fazenda Experimental Vale do Curu (FEVC), pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, localizada no município de Pentecoste, Estado do Ceará, a 110 km de Fortaleza, entre os paralelos 3°45' e 4°00' de latitude Sul e os meridianos 39°15' e 39°30' de longitude Oeste, a uma altitude de 47 m.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é semi-árido (Bsh'i). As condições climáticas da região caracterizam-se por apresentar precipitação média anual em torno de 826,7 mm e evapotranspiração de referência (ET_0) de 2177,7 mm (Penman-Monteith). A análise granulométrica, Tabela 1, do perfil de solo em estudo, revelou predominância da fração areia, tratando-se de um aluvião jovem, revelando grande semelhança entre as quatro camadas estudadas, fato este explicado pela homogeneidade textural no perfil franco-arenoso, sendo que a camada mais profunda se enquadra numa classe textural bastante próximo das camadas superficiais (Lima, 1994).

Tabela 1. Análise granulométrica* dos vários horizontes, conforme Sistema Internacional para o perfil em estudo

Horizonte	Prof. (cm)	g kg ⁻¹					Classe Textural
		Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Natural	
A ₀	11,5	90	550	250	110	80	F. arenoso
C ₁	41,5	180	480	230	110	70	F. arenoso
C ₂	71,5	210	530	170	90	70	F. arenoso
III C ₄	110,0	10	370	390	230	190	Franco

*Fonte: Lima (1994)

O experimento foi implantado em uma área de 640 m² (32 x 20 m) a qual recebeu previamente uma aração e uma gradagem. A mesma foi mantida sem cobertura vegetal, no período de 4/10/99 a 10/3/00, realizando-se capinas manuais, sempre que necessário.

Instalaram-se seis baterias de tensiômetro, cada uma composta com três tensiômetros, nas profundidades de 0,10, 0,30 e 0,50 m, e tubos de acesso de alumínio até a profundidade de 0,6 m para a sonda de nêutrons. Instalaram-se, também, nove tubos de acesso de alumínio na área sem cobertura vegetal, com 1,5 m de comprimento, diâmetro interno de 49 mm e diâmetro externo de 51 mm. A porção inferior dos tubos foi vedada com rolha de borracha nº 14 e araldite. Ao serem instalados no campo, ficaram com 0,20 m acima da superfície. A porção superior foi protegida com uma lata de alumínio, facilmente removível, para realização das leituras.

Manejo da irrigação

Na irrigação, utilizaram-se um sistema de aspersão convencional fixo e um conjunto motobomba a diesel, além de bomba centrífuga, doze aspersores modelo NY 30 ER (engate rápido eixo em nylon) e bocal verde (4,6 x 5,0 mm).

O manejo da irrigação era baseado na leitura dos tensiômetros e, sempre que qualquer um dos tensiômetros instalados a 0,10 m de profundidade alcançava altura da coluna de mercúrio de 0,38 m, equivalendo a um potencial mátrico de -45 kPa, realizava-se a irrigação, cuja duração era de 2 h. A medição da lâmina aplicada era realizada por meio de coletores instalados próximo aos tubos de acesso, de alumínio (Figura 1).



Figura 1. Tubo de acesso (centro), coletor (esquerda) e bateria de tensiômetros (direita)

Estimativa da umidade no solo e dos gradientes de potencial

A medida da umidade no solo foi realizada diariamente, no período de 4/10/99 a 10/3/00, com o uso de uma sonda de nêutrons da marca Troxler, série 3.300, com fonte radioativa de Americio-Berílio (10 m Ci Am-241:Be) capaz de produzir 25.000 nêutrons s⁻¹ e encapsulamento duplo em aço inoxidável de fabricação norte-americana. As contagens dos nêutrons moderados foram realizadas nas profundidades de 0,20 m e 0,40 m, com três repetições em cada profundidade obtendo-se, assim, uma contagem média (C_m) para cada camada estudada; a contagem padrão (C_L) era realizada na própria blindagem da sonda, em tempo longo, 4 min, enquanto a contagem padrão era realizada diariamente, antes de se iniciar os trabalhos de

leitura da sonda. Com base nas curvas de calibração, obtinha-se a umidade medida, a qual era comparada com a umidade estimada pelo modelo.

Na determinação do parâmetro da equação de percolação (γ), utilizaram-se os valores do gradiente de potencial e os da condutividade hidráulica determinados em campo $k(\theta)$, na equação de Darcy, para o cálculo do fluxo de drenagem diária (q), necessário para a determinação de (γ) conforme a Eq. (6).

Para obtenção dos gradientes de potencial total (dh/dz) foram utilizados os dados das seis baterias com três tensiômetros cada uma. O gradiente de potencial total era obtido com base nos valores de potencial gravitacional e potencial mátrico.

Procedimento para avaliação do MUSAG de acordo com a modificação proposta por Aguiar et al. (1998)

Para a avaliação do MUSAG propriamente dita, compararam-se os valores do armazenamento medidos a campo com os valores estimados pelo modelo, no período experimental (4/10/99 a 10/3/00) por meio da análise estatística clássica, compreendendo o cálculo do desvio médio (d_{me}), desvio-padrão (s_d), variância (s_d^2), coeficiente de correlação (r), assimetria (C_s), curtose (C_t), erro-padrão (e_p) e da estatística (t) considerando-se que os desvios se distribuem normalmente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Armazenamento da água no solo

A umidade média no solo, calculada diariamente pela sonda nos nove tubos de acesso, entre 4/10/99 a 10/3/00, evidenciou um coeficiente de variação entre 6,89 e 26,32% para a profundidade de 0,20 m e entre 4,56 e 7,15% para a profundidade de 0,40 m. Observou-se que o coeficiente de variação a 0,20 m de profundidade mais elevado ocorreu no mês de outubro (26,32%) devendo-se ao fato de que no intervalo entre 4/10/99 e 21/10/99, o armazenamento atingiu o seu valor mais baixo e, a partir de 22/10/99, iniciaram-se as irrigações, elevando a umidade média no solo e contribuindo, portanto, para o aumento da variação na umidade do solo para aquele mês.

Os coeficientes de variação da umidade na camada de 0 a 0,20 m sempre foram superiores aos da camada de 0,20 a 0,40 m, sendo tal fato explicado pela maior velocidade na perda de umidade na camada superficial, decorrente da maior proximidade da interface solo-ar, além da importância da componente gravitacional no início do processo de redistribuição de água no solo.

As medidas de umidade no solo realizadas pelo método da moderação de nêutrons foram obtidas a partir das seguintes curvas de calibração (Tabela 2).

Como mostra a Tabela 2, as curvas de calibração revelaram valores aproximados dos coeficientes angulares (0,3797 e 0,4397), respectivamente para as camadas de 0,20 e 0,40 m. A análise de variância das regressões para obtenção das curvas de calibração por meio do coeficiente de determinação, R^2 e teste F, revelou-se significativa.

Tabela 2. Curvas de calibração da sonda de nêutrons para um solo aluvial. Pentecoste, CE, 1999/2000

Prof. (m)	Equação de Calibração (θ em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	F	R ²
0,20	$\theta = 0,0367 + 0,3797\text{CR}$	50,04*	0,86
0,40	$\theta = -0,0058 + 0,4397\text{CR}$	153,84*	0,95

* Valores de F considerando-se 10 observações; F crítico é $F_{1,8; 5\%} = 5,32$
CR - Contagem relativa dos nêutrons moderados

Função de infiltração

A função de infiltração ajustada segundo a Eq. (3) foi:

$$i = 59,03 + (726,09 - 59,03) \left(\frac{\theta_0 - \theta}{\theta_0} \right)^{1,4} \quad (9)$$

sendo i em mm d^{-1} e θ_0 em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, correspondendo a uma lâmina de 111,9 mm à profundidade de 0,30 m.

Função de percolação

A equação de drenagem ajustada segundo a Eq. (4) foi:

$$q = 59,03 \left(\frac{\theta}{\theta_0} \right)^{13,080} \quad (10)$$

sendo $i_f = 59,03 \text{ mm d}^{-1}$ a velocidade de infiltração básica ajustada e $\beta = 13,08$.

Um valor de β elevado significa grande sensibilidade na variação de q quando a umidade (θ) varia, ou seja, para pequenas mudanças na relação θ/θ_0 , observam-se grandes variações nos valores de q . Por exemplo, na camada de 0 a 0,30 m, se houver queda de 6% na umidade em relação à saturação ($\theta_0 = 0,373 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$) o valor da percolação se reduz em 56,5%.

Função de evaporação

A equação de evaporação ajustada e de acordo com a Eq. (5) foi:

$$\text{EV} = 5,34 \left(\frac{\theta}{k \cdot \theta_0} \right)^{5,2098} \quad (11)$$

O valor de $k = 0,6636$ representa o percentual da umidade de saturação a partir da qual a evaporação do solo passa a ser igual à evapotranspiração de referência. No modelo ajustado, a evaporação do solo permanecerá igual a 5,34 mm d^{-1} (ET_0 médio) quando o armazenamento no solo for igual ou maior a 74,25 mm, considerando-se uma umidade de saturação de 111,9 mm.

O escoamento superficial foi desprezado devido a pequena declividade do terreno.

Avaliação do modelo ajustado

Considerando-se a umidade observada no primeiro dia do período (5/10/99) estimaram-se os armazenamentos subsequentes a partir das funções de infiltração, percolação e evaporação ajustadas.

A comparação entre os armazenamentos estimados e observados é apresentada na Figura 2.

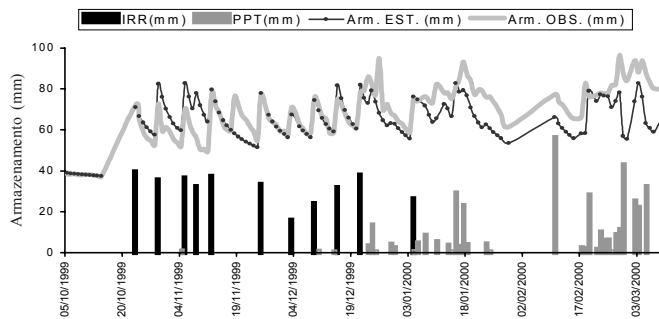


Figura 2. Armazenamento estimado (Arm. EST.) e observado (Arm. OBS.) em relação à distribuição da irrigação (IRR) e precipitação (PPT) no período de 05/10/99 a 10/03/00, na profundidade de 0 - 0,30 m do solo de Pentecoste, CE

Ao longo do experimento destacam-se três subperíodos, compreendendo o primeiro a fase inicial de trabalho, sem irrigação, de 4/10/99 a 21/10/99, o segundo, no período de 22/10/99 (data da primeira irrigação) a 4/1/00 (última irrigação) e o terceiro de 5/1/00 a 10/3/00, no qual a recarga da umidade no solo foi exclusivamente devido às chuvas. Neste subperíodo, o modelo subestimou a umidade no solo em relação ao valor observado e a baixa sensibilidade do modelo pode estar associada à ocorrência de precipitações pluviométricas a curtos intervalos de tempo, para o tipo de solo trabalhado. Apesar disto, os dados de armazenamento estimados e observados apresentaram a mesma tendência de variação. Na Tabela 3 tem-se o resumo dos parâmetros de avaliação estatística.

Tabela 3. Resumo dos parâmetros da avaliação estatística do MUSAG, no período de 5/10/99 a 10/3/00

Parâmetros	Valores
Arm _{estmédio}	64,12
Arm _{obsmédio}	67,96
Assimetria (C_s)	- 0,19
Curtose (C_r)	0,62
Stat t	- 2,50
T crítico bi-caudal	2,59

O coeficiente de assimetria (C_s) de $|- 0,19|$ mostra que a distribuição é normal e levemente assimétrica. Costuma-se considerar a assimetria como moderada, se $0,15 < |C_s| < 1$ (Costa Neto, 1997). O coeficiente de curtose (C_r) caracteriza a forma da distribuição quanto ao seu achatamento, e é adimensional, sendo menor que 3, no caso $C_r = 0,62$, a distribuição é dita platicúrtica, ou seja, relativamente plana quanto à elevação de seu cume.

A hipótese testada é a de que $H_0: \text{Arm}_{\text{estmédio}} - \text{Arm}_{\text{obsmédio}} = 0$, sendo $\text{Arm}_{\text{estmédio}}$ a média dos armazenamentos estimados e $\text{Arm}_{\text{obsmédio}}$ a média dos armazenamentos observados. A estatística usada para se testar a hipótese foi o teste "t", presumindo duas amostras com variâncias diferentes, com nível de significância $\alpha = 0,01$, isto é, existe apenas 1% de chance de se rejeitar a hipótese de nulidade.

Como se pode observar, o valor de “t” calculado ($t = 2,50$) é menor que o valor de “t” tabelado ($t = 2,59$) considerando-se o teste bilateral, caso em que se aceita a hipótese H_0 : $Arm_{estmédio} - Arm_{obsmédio} = 0$, ou seja, não há diferença entre o armazenamento estimado médio e o armazenamento observado médio. Portanto, para $\alpha = 1\%$, o modelo é válido. Entretanto para obter melhores resultados com o modelo recomendamos que seja dada atenção especial ao monitoramento da água no solo na camada superficial, uma vez que a umidade varia rapidamente; a condutividade hidráulica para a camada analisada, deve ser determinada. Em vez de se adotar a umidade no solo (θ) igual a zero no passo de inicialização do modelo no dia 1º de outubro, propõe-se utilizar a umidade no solo correspondente ao ponto de murcha permanente (PMP) por apresentar sentido físico, uma vez que o modelo foi concebido para a exploração de culturas sob regime de sequeiro.

CONCLUSÕES

1. O modelo (MUSAG) permitiu estimar-se valores de armazenamento de água no solo, estatisticamente não diferentes dos valores obtidos pela sonda de nêutrons, para a profundidade de 0 - 0,30 m.

2. O modelo apresentou valores subestimados para estimativa da umidade no solo em períodos com maior frequência de precipitação, embora seguindo a tendência dos valores observados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Cearense de Amparo à Pesquisa - FUNCAP, pelos recursos financeiros de apoio à pesquisa.

LITERATURA CITADA

- Aguiar, J.V. Parâmetros físico-hídricos de um solo sem cobertura vegetal e avaliação do MUSAG. Piracicaba: ESALQ, 1997. Tese Doutorado
- Aguiar, J.V.; Angelocci, L.R.; Folegatti, M.V.; Paz, V.P.S. Teste e calibração do modelo de umidade do solo para atividades agrícolas (MUSAG). Revista Agro-Ciencia, Concepción, v.14, n.2, p.339-346, 1998.
- Andrade, F.C.M. Modelo de umidade do solo para atividades agrícolas. FUNCEME. Fortaleza, CE, 1995. 12
- Antonino, A.C.D.; Sampaio, E.V.S.B.; Dall’Olio, A.; Salcedo, I.H. Balanço hídrico em solo com cultivos de subsistência no semi-árido do nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.4, n.1, p.57-62, 2000.
- Baier, W.; Robertson, G.W. The performance of soil moisture estimates as compared with the direct use of climatological data for estimating crop yields. Agricultural Meteorology, Amsterdam, v.5, p.17-31, 1968.
- Costa Neto, P.L.O. Estatística. 15.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1997. 264p.
- Doorenbos, J.; Pruitt, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO-Irrigation and Drainage Paper 24, 1977. 144
- Lima, B.P. Potencialidades de irrigação de um aluvião eutrófico do Vale do Curu-Pentecoste, CE. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, UFC, 1994. Dissertação Mestrado. 84p.
- Molina, P.A.; Andrade, F.C.M. Modelo de umidade do solo para atividades agrícolas. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 10, e Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul, 1, 1993, Gramado. Anais... Gramado: SBRH, 1993. v.III, p.136-145.
- Skaggs, R.W.; Huggins, L.F.; Monke, E.J.; Foster, G.R. Experimental evaluation of infiltration equations. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.12, n.6, p.822-828, 1969.