



AValiaÇÃO DO MODELO ISAREG NA SIMULAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA DAS CULTURAS TROPICAIS NO NORDESTE DO BRASIL

Kleiton Rocha Saraiva¹, Thales Vinícius de Araújo Viana², Solerne Caminha Costa³, Silvio Carlos Ribeiro Vieira Lima⁴, Mário de Oliveira Rebouças¹, Rubens Sonsol Gondim⁵

RESUMO

Objetivou – se verificar a eficiência ISAREG na simulação da demanda hídrica da cultura da melancia, para as condições edafoclimáticas específicas do Nordeste do Brasil. Para tanto foram comparados os valores de evapotranspiração da cultura (ET_c) obtidos em campo, com os valores de ET_c simulados pelo modelo ISAREG. Os seguintes indicadores estatísticos foram utilizados: o coeficiente de correlação de Pearson (r), o índice de concordância de Willmott (Id), e, visando à análise de confiabilidade do ISAREG foi calculado o índice de desempenho de Camargo. Durante todas as fases fenológicas da cultura da melancia a ET_c experimental demonstrou-se sempre próxima à ET_c simulada pelo ISAREG. Quanto ao “r”, que indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média, ou seja, o erro aleatório, o ISAREG demonstrou excelente resultado (0,969). Em se tratando de “Id”, que avalia a exatidão e o afastamento dos valores simulados em relação aos observados, o ISAREG alcançou (0,928). Finalmente, quanto ao “c”, o ISAREG foi classificado como ótimo. Nas condições em que foi realizada a avaliação, o modelo ISAREG simulou, satisfatoriamente, a ET_c da melancia cultivada nas condições do Nordeste brasileiro.

Palavras-chave: software, irrigação, manejo

ISAREG MODEL ASSESSMENT IN SIMULATION OF WATER DEMAND OF CULTURES IN TROPICAL NORTHEAST BRAZIL

ABSTRACT

The objective - to verify the ISAREG efficiency in the simulation of water demand of watermelon crop to the specific soil and climatic conditions of the Northeast of Brazil. Therefore, we compared the crop evapotranspiration (ET_c) obtained in the field with the ET_c values simulated by ISAREG model. The following statistical indicators were used: the Pearson correlation coefficient (r), the Willmott agreement index (Id), and aimed at the

¹Doutor em Engenharia Agrícola, Instituto Federal do Piauí – IFPI, kleiton.rocha@ifpi.edu.br; mario.oliveira@ifpi.edu.br

² Doutor em Irrigação e Drenagem, Universidade Federal do Ceará – UFC, thales@ufc.br

³ Doutor em Engenharia Agrícola, Instituto Federal do Ceará – IFCE, solernecosta@gmail.com

⁴ Doutor em Irrigação e Drenagem, INOVAGRI, silviocarlos@inovagri.org.br

⁵ Doutor em Recursos Hídricos, EMBRAPA Agroindústria Tropical, rubens.gondim@embrapa.br

ISAREG reliability analysis was calculated Camargo Performance Index. During all the phenological stages of watermelon crop experimental ET_c proved to be always close to the simulated ET_c by ISAREG. As for the "r", indicating the degree of dispersion of data obtained from the mean, ie, the random error, ISAREG showed excellent results (0.969). In the case of "Id", which evaluates the accuracy and distance of the simulated values to the observed, the ISAREG reached (0.928). Finally, regarding the "c", the ISAREG was classified as excellent. The conditions under which the assessment was conducted, the ISAREG model simulated satisfactorily ET_c of watermelon grown under the conditions of the Brazilian Northeast.

Keywords: software, irrigation, management

INTRODUÇÃO

Uma crescente escassez de água devido ao aumento populacional e ao desenvolvimento econômico está ampliando os desafios para a agricultura, perdulária no seu uso, necessitando-se que se encontrem novas soluções para a gestão dos recursos hídricos em áreas irrigadas, principalmente nas localizadas na região semiárida, onde a água é limitada. Em consequência, já se vislumbra um problema técnico de suprimento da água que será cada vez mais disputada pelas diferentes atividades humanas, fazendo-se "mister" o seu uso de maneira controlada na agricultura (Barbosa, 2005).

Além disso, no semiárido do Nordeste do Brasil predominantemente ainda se irriga empiricamente, ou seja, não se realiza o correto manejo da irrigação. Como resultado, além das produtividades das culturas estarem aquém do seu potencial, normalmente se aplica mais água do que as culturas necessitam ocasionando o desperdício dos escassos recursos hídricos da região. Esses fatores são agravados em decorrência da má conservação e da utilização irracional dos recursos naturais (Hernandez, 2008).

Como solução para estas problemáticas, o manejo racional da irrigação objetiva maximizar a eficiência do uso da água e minimizar os problemas de salinização e de consumo de energia, mantendo favoráveis as condições de umidade do solo e de fitossanidade das plantas, levando em consideração as condições climáticas do local de cultivo, bem como as características da cultura. O manejo racional visa suprir as

necessidades hídricas das culturas, fornecendo água no momento certo e na quantidade correta, sem desperdício (Pereira, 2004).

Uma das alternativas para se evitar o desperdício do recurso hídrico é a utilização de softwares computacionais usados no manejo da irrigação que calculam os requerimentos de água a partir de dados do clima, do solo e da cultura (Pereira, 2004). Como exemplo, tem-se o modelo ISAREG, que é um software de simulação do balanço hídrico no solo, desenvolvido no Instituto Superior de Agronomia, em Portugal, que é capaz de lidar com a ascensão capilar e com a percolação através da zona radicular. O ISAREG (como uma nova tecnologia no manejo da irrigação) tem sido utilizado em vários países, sendo capaz de auxiliar na simulação de lâminas de irrigação visando à manutenção da umidade do solo em diferentes porcentagens do armazenamento máximo (capacidade de água disponível no solo - CAD).

Apesar de o modelo ISAREG já ter sido utilizado em diversas partes do mundo, inclusive no Brasil, com resultados satisfatórios, entende-se que os modelos devem ser sempre que possível testados e analisados, para que os mesmos possam ser aperfeiçoados para que suas simulações se aproximem cada vez mais da dinâmica real do sistema solo-água-planta-atmosfera.

Diante do exposto, a seguinte hipótese foi elaborada: o ISAREG, sendo alimentado com dados locais, se mostrará eficiente no cálculo do balanço hídrico do solo e do manejo de irrigação para a cultura da melancia.

Portanto, este trabalho objetivou avaliar a eficiência do modelo ISAREG, durante

simulações para o manejo da irrigação da cultura da melancia, no Nordeste brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Visando à avaliação do ISAREG foram comparados os valores de evapotranspiração da cultura (ETc) obtidos em campo, através da metodologia do balanço hídrico no solo, com os valores de ETc simulados pelo modelo ISAREG.

Durante o processo de simulação da ETc, realizada pelo modelo, o mesmo calculou a evapotranspiração de referência (ETo), através da equação de Penman – Monteith/FAO, descrita por Allen et al. (1998), utilizando dados climáticos diários, oriundos de estação meteorológica automática; já o coeficiente da cultura (Kc) utilizado na simulação foi obtido através da pesquisa de Freitas & Bezerra (2004).

Já quanto ao balanço hídrico no solo, visando a obtenção da ETc, para o monitoramento da umidade do solo foram instaladas baterias de tensiômetros de punção, nas profundidades de 0,10; 0,30; 0,50 e 0,70 m, o que permitiu o estudo do movimento da água para o balanço hídrico da cultura da melancia na área do bulbo molhado dos gotejadores.

Nesta fase foram instaladas três baterias, sendo quantificado o potencial mátrico para cada profundidade, através da média dos valores observados diariamente. Já se encontrava disponibilizada para a área experimental a curva de calibração do potencial mátrico versus umidade do solo (Silva, 2012).

Em consequência, a umidade do solo foi calculada pela equação do modelo de van Genuchten (1980), equação 1.

$$\theta_a = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left(1 + (\alpha |\psi_m|)^n\right)^m} \quad (1)$$

em que,

θ_a : umidade atual do solo ($m^3 m^{-3}$);

θ_r : umidade residual do solo ($m^3 m^{-3}$);

θ_s : umidade de saturação do solo ($m^3 m^{-3}$);

ψ_m : potencial matricial da água no solo (cm H_2O);

α , m e n : parâmetros do solo.

O balanço hídrico no solo foi realizado pela contabilização da irrigação (I), da variação da armazenagem da água no solo (Δh), da drenagem profunda ou ascensão capilar (Q_z). Assim, para calcular a evapotranspiração da cultura (ETc) foi aplicada a equação 2.

$$ETc = I + (\pm Q_z) - (\pm \Delta h) + P \quad (2)$$

em que,

ETc: evapotranspiração da cultura (mm);

I: irrigação (mm);

Δh : variação de armazenagem da água no solo na camada de profundidade de zero a Z, para o intervalo de tempo considerado no balanço (mm);

Q_z : percolação, quando negativo, ou ascensão capilar, quando positivo (mm);

P: precipitação (desprezada durante os cálculos, pois não houve ocorrência durante o experimento).

As lâminas de irrigação (I) foram determinadas através da razão entre a ETc, verificada ao longo das irrigações iniciais, e a eficiência de irrigação (Ei).

A variação da armazenagem da água no solo, no intervalo de tempo considerado, na profundidade adotada no balanço hídrico, foi obtida pela equação 3 (Reichardt, 1990).

$$\Delta h = (\bar{\theta}_f - \bar{\theta}_i) Z \quad (3)$$

em que,

$\bar{\theta}_f$: umidade média do solo na camada de 0 – 0,40 m, no dia da irrigação ($m^3 m^{-3}$);

$\bar{\theta}_i$: umidade média do solo na camada estudada, no dia da irrigação subsequente ($m^3 m^{-3}$);

Z: profundidade do solo, adotada para o balanço hídrico (mm).

A equação de Buckingham – Darcy (1907), equação 4, foi utilizada para a determinação da drenagem profunda ou ascensão capilar, no limite inferior do volume de solo considerado.

$$Q_z = -K(\theta) \frac{\Delta\psi}{\Delta Z} \quad (4)$$

em que,

$K(\theta)$: condutividade hidráulica do solo na profundidade Z , em função da umidade do solo (mm dia^{-1});

$\frac{\Delta\psi}{\Delta Z}$: gradiente do potencial total da água no solo na profundidade Z (cm cm^{-1}).

Aplicando na equação 4, na profundidade do solo (Z) de 0,40 m, obtém-se a equação 5.

$$Q_{40} = -K(\theta)_{40} \left\{ \frac{\psi^{30} - \psi^{50}}{20} \right\}_{40} \quad (5)$$

em que,

$K(\theta)$: condutividade hidráulica do solo, em função da umidade média na camada de 0 a 0,40 m (mm dia^{-1}).

$\left\{ \frac{\psi^{30} - \psi^{50}}{20} \right\}_{40}$: gradiente de potencial total

da água no solo, na profundidade de $Z = 0,40$ m;

sendo,

ψ^{30} : potencial da água no solo na profundidade de 0,30 m ($\text{cm H}_2\text{O}$)

ψ^{50} : potencial da água no solo na profundidade de 0,50 m ($\text{cm H}_2\text{O}$)

Os valores utilizados de $K(\theta)$ foram obtidos por Caitano et al. (2010), mediante um ensaio de campo realizado no mesmo local do experimento em profundidades de 15, 45 e 75 cm. Considerou-se, para efeito de cálculos na pesquisa, o $K(\theta)$ para a profundidade de 45 cm, pois é até essa profundidade que se encontra a

zona efetiva de raízes da melancia. O valor de $K(\theta)$ foi de $1,8 \times 10^{-3} \exp^{(0)}$.

Segundo Pereira et al. (2003), o modelo ISAREG utiliza, para os cálculos da demanda hídrica, os dados fenológicos da cultura, dividido nas fases seguintes: fase 1, do plantio à primeira irrigação; fase 2, início do crescimento vegetativo; fase 3, cobertura total e floração; fase 4, formação dos frutos; fase 5, início da senescência das folhas; e, fase 6, colheita.

Para a análise avaliativa do ISAREG, os seguintes indicadores estatísticos foram utilizados: o coeficiente de correlação de Pearson (r), entre os valores observados em campo e os valores simulados pelo ISAREG, através de metodologia descrita por Morettin & Bussab (2003). O coeficiente de correlação (r) indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média, ou seja, o erro aleatório; os seus valores variam de -1 a 1 e quanto mais próximo de 1 for a correlação entre os dados analisados (Cardoso et al., 2005).

Já o índice de concordância de Willmott (Id), dado por uma aproximação matemática, avalia a exatidão e o afastamento dos valores simulados em relação aos observados (Willmott, 1981), onde a variação é de zero (nenhuma concordância) até 1 (concordância perfeita). Esse índice foi calculado através da equação 6.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (6)$$

em que,

P_i é a evapotranspiração da cultura (ET_c), verificada no campo, através do balanço hídrico no solo, em mm.

O_i é a ET_c simulada pelo ISAREG, em mm.

O é a ET_c média simulada pelo ISAREG (mm).

Finalmente, visando à análise de confiabilidade do modelo ISAREG foi calculado o índice de desempenho de Camargo ($c = r \times Id$), que se constitui no produto dos

AVALIAÇÃO DO MODELO ISAREG NA SIMULAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA DAS CULTURAS TROPICAIS NO NORDESTE DO BRASIL

dois índices anteriores (Camargo & Sentelhas, 1997). A avaliação do desempenho da

estimativado modelo ISAREG foi realizada através do índice "c", conforme quadro 1.

Quadro 1. Critério de interpretação do desempenho dos modelos pelo índice "c", proposto por Camargo e Sentelhas (1997).

Valor de "c"	Desempenho
>0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
< 0,41	Péssimo

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o ciclo de cultivo da melancia, as 6 (seis) fases fenológicas da cultura foram determinadas. As durações diárias das fases foram as seguintes: fase 1, 02 dias; fase 2, 16 dias; fase 3, 10 dias; fase 4, 21 dias; fase 5, 14 dias e fase 6, 4 dias, totalizando 67 dias de ciclo da cultura da melancia.

A ET_c da melancia irrigada, calculada através da metodologia do balanço hídrico no solo, com o uso da tensiometria, variou ao longo das fases fenológicas da cultura (influência do desenvolvimento da cultura),

com os seguintes valores: 1,6 mm na fase 1; 1,8 mm na fase 2; 3,2 mm na fase 3; 7,5 mm na fase 4; e 5,2 mm nas fases 5 e 6.

Através da Figura 1, pode-se analisar a comparação entre os valores de evapotranspiração da cultura (ET_c) obtidos em campo (experimental), através da metodologia do balanço hídrico no solo, com os valores de ET_c simulados pelo modelo ISAREG, onde o mesmo utilizou, para tanto, a equação de Penman-Monteith/FAO para o cálculo da ET_o e K_c oriundo de pesquisa local.

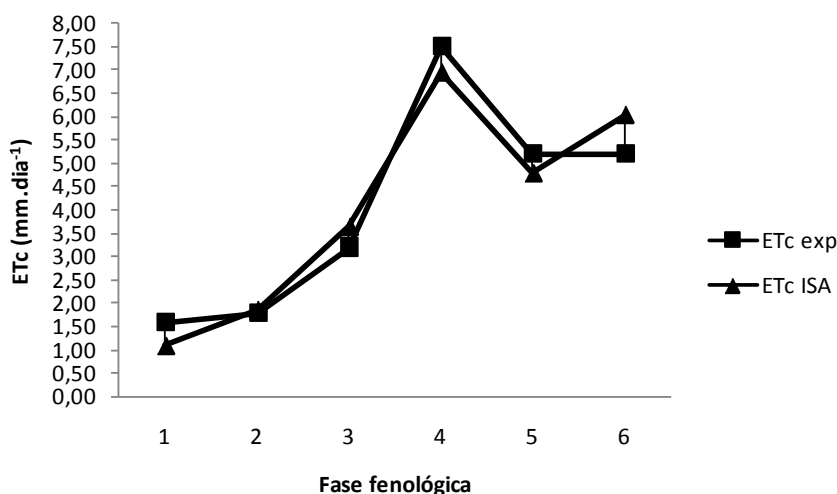


Figura 1. Comparação entre a ET_c simulada pelo ISAREG e a ET_c experimental (balanço hídrico no solo)

Estimativas precisas da evapotranspiração são essenciais para identificar as variações temporais sobre a necessidade de irrigação, melhorar a alocação

dos recursos hídricos e avaliar o efeito do uso da terra e mudanças na gestão do balanço hídrico (Ortega-Farias et al., 2009).

Durante todas as fases fenológicas da cultura da melancia a ET_c experimental demonstrou-se sempre próxima à ET_c simulada pelo ISAREG. Na fase 1, o simulado subestimou o experimental em 0,5 mm. A ET_c simulada pelo modelo também subestimou a ET_c experimental nas fases 4 e 5, com diferenças de 0,5 mm e 0,4 mm, respectivamente. Já na fase 2, o ISAREG superestimou a ET_c em 0,07 mm. Essa

superestimativa se repetiu nas fases 3 e 6, com diferenças de 0,3 mm e 0,7 mm.

O desempenho do modelo ISAREG foi avaliado através dos seguintes indicadores estatísticos: o coeficiente de correlação de Pearson (r), o índice de concordância de Willmott (Id) e o índice de desempenho de Camargo (c) (Tabela 1).

Tabela 1. Avaliação do desempenho do ISAREG na simulação da ET_c da melancieira

Análise	Parâmetros			Desempenho
	r	Id	c	
ET _c EXP versus ET _c ISA	0,969	0,928	0,899	ótimo

Quanto ao “r”, entre os valores observados em campo e os valores simulados pelo ISAREG, que indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média, ou seja, o erro aleatório, o ISAREG demonstrou excelente resultado (0,969), pois segundo Cardoso et al. (2005), os valores de “r” variam de -1 a 1 e quanto mais próximo da unidade maior, mais elevada é a correlação.

Em se tratando de “Id”, que avalia a exatidão e o afastamento dos valores simulados em relação aos observados, o ISAREG chegou próximo à perfeição (0,928), pois segundo Willmott (1981) a variação de “Id” é de zero (nenhuma concordância) até 1 (concordância perfeita).

Finalmente, quanto ao “c”, que representa a confiabilidade do modelo, segundo classificação de Camargo e Sentelhas (1997), o ISAREG foi classificado como ótimo. Alencar et al. (2011), avaliando a eficiência de diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração de referência, utilizando os índices de Willmott e de Camargo, alcançaram resultados satisfatórios. O mesmo ocorreu em pesquisa conduzida por Araújo et al. (2007).

Nas condições em que foi realizada a avaliação, o modelo ISAREG simulou, satisfatoriamente, a evapotranspiração da cultura da melancia, cultivada no DIJA. Em investigação realizada com o uso do modelo ISAREG, no Perímetro de Irrigação Baixo Acaraú-CE, Saraiva et al. (2013) concluíram

que o ISAREG demonstrou ser uma ferramenta importante no manejo da irrigação da cultura da melancia.

CONCLUSÕES

O modelo ISAREG, quando alimentado corretamente com todas as variáveis por ele requeridas, demonstrou ser eficiente na simulação do balanço hídrico, mesmo sob irrigação deficitária, no cultivo da melancia no DIJA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, L.P.; SEDIYAMA, G.C.; WANDERLEY, H.S.; ALMEIDA, T.S.; DELGADO, R.C. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no norte de Minas Gerais. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG. v.19, n.5, 437-449p. 2011.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 279p. (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 56). 1998.

ARAÚJO, W.F.; COSTA, S.A.A.; SANTOS, A.E. Comparação entre métodos de estimativa de evapotranspiração de referência (ET_o) para

Boa Vista – RR. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.20, n.4, p.84-88, 2007.

BARBOSA, F.C. **Estimativa das necessidades de irrigação e avaliação do impacto da cobrança pelo uso de recursos hídricos na bacia do baixo Jaguaribe – Ce.** Dissertação de mestrado. Fortaleza, 2005.

CAITANO, R. F. ; MOREIRA, L. C. J. ; OLIVEIRA, A. D. ; TEIXEIRA, A. S. DOS. ; BEZERRA, F. M. L. . Condutividade hidráulica não saturada, em latossolo vermelho amarelo, pelo método do perfil instantâneo. In: IX CONGRESSO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERIA AGRICOLA/XXXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2010, Vitória. **Anais... IX CLIA/XXXIX CONBEA**. Jaboticabal: SBEA, 2010. v. 1. p. 11.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CARDOSO, L. R. et al. Variabilidade genética entre populações de *Pistia stratiotes*. **Planta Daninha**, v. 23, n. 2, p. 181-185, 2005.

FREITAS, A. A.; BEZERRA, F. M. L. Coeficientes de cultivo da melancia nas suas fases Fenológicas. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 35, n.2, jul.-dez., 2004, p.319 – 325.

HERNANDEZ, F.B.T. “A gestão dos perímetros irrigados precisa ser repensada”. Um dos palestrantes da II Winotec - II Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação e o I Simpósio Brasileiro sobre o Uso Múltiplo da Água,

Fortaleza, **Anais... II Winotec**, 2008.

MORETTIN, P.A.; BUSSAB, W.O. **Estatística Básica**, 5a ed. Atual Editora, São Paulo,

TRIOLA, M.F. Introdução à Estatística. 7a ed. 2003.

ORTEGA-FARIAS, S.; IRMAK, S.; CUENCA, R.H. Special issue on evapotranspiration measurement and modeling, **Irrigation Science**, v.28, n.1, p.1–3, 2009.

PEREIRA, L.S.; TEODORO, P.R.; RODRIGUES, P.N.; TEIXEIRA, J.L. Irrigation scheduling simulation: the model ISAREG. In: Rossi, G., Cancelliere, A., Pereira, L.S., Oweis, T., Shatanawi, M., Zairi, A. (Eds.) Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions. Kluwer, Dordrecht, p. 161-180. 2003. **Anais... Kluwer**, 2003.

PEREIRA, L.S. **Necessidades de água e métodos de rega. Publicado na Europa e América**. 300p. Lisboa-Portugal. 2004.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Piracicaba: Manole, 1990. 188p.

SARAIVA, K. R.; BEZERRA, F. M. L.; SOUZA, F. de.; CAMBOIM NETO, L. F. Aplicação do “ISAREG” no manejo da irrigação na cultura da melancia no Baixo Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 53-60, jan-mar, 2013.

SILVA, F. L. da. **Ambiência e Biofertilização no cultivo orgânico de figo, em condições semiáridas**. (Tese de Doutorado). UFC. Fortaleza, Ceará. 130f. 2012.

WILLMOTT, C.J. **On the validation of models**. Physical Geography, v.2, p. 1984 – 194. 1981.