

USO DO PROGRAMA STELLA NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO DO MELOEIRO

EUGENIO PACELI DE MIRANDA¹; NATÁLIA SOARES DA SILVA²; LEONARDO PAULA DE SOUZA³; JULIANO BOECK SANTOS⁴ E RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN⁵

¹ Engenheiro Agrônomo, Prof. M. Sc. , Instituto Federal, Ceará. Doutorando UNESP/SP. Botucatu/SP. CEP: 18.610-265. Fone: (14) 33544034. e-mail: eu.paceli@yahoo.com.br;

² Engenheira Agrônomo, M.Sc. Doutoranda UNESP/SP. Botucatu/SP;

³ Engenheiro Agrônomo, Prof. M. Sc. Curso de Agronomia. UFAC. Cruzeiro do Sul. Acre. Doutorando UNESP/SP. Botucatu/SP;

⁴ Engenheiro Agrônomo, M.Sc. Doutorando UNESP/SP. Botucatu/SP;

⁵ Engenheiro em Irrigação e Drenagem, Prof. Doutor. Departamento de Engenharia Agrícola. UNESP. Botucatu. SP.

1 RESUMO

A crescente conscientização da água como bem de alto valor econômico, social, cultural e ecológico exige cada vez mais o uso racional desse recurso baseados em parâmetros técnicos que levem a um aumento da eficiência do manejo de irrigação. Utilizou-se o programa STELLA 10.0.3 para simular o balanço hídrico de um solo cultivado com meloeiro (*Cucumis melo* L.) no município de Iguatu/Ceará. Os parâmetros meteorológicos corresponderam aos valores diários de temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média e radiação solar no topo da atmosfera. Utilizou-se o método de Hargreaves-Samani para determinar a Evapotranspiração de Referência. A capacidade de campo, ponto de murcha permanente, densidade aparente, profundidade efetiva do sistema radicular e o déficit hídrico tolerável foram os parâmetros físicos do solo para determinar sua capacidade de água disponível e o nível mínimo de água disponível. As irrigações são realizadas sempre que o nível de umidade do solo fica muito próximo ou abaixo do nível mínimo de água disponível. Os resultados mostraram que o modelo desenvolvido utilizando dinâmica de sistemas, analisa todos os parâmetros envolvidos de forma sistêmica e dinâmica fornecendo como resultado valores de lâminas de irrigação a serem aplicadas e os momentos em que sua aplicação é necessária.

Palavras-chaves: Irrigação, melão, dinâmica de sistemas.

2 INTRODUÇÃO

O balanço hídrico de uma determinada área vegetada pode ser representado pelo balanço de entradas e saídas da água em determinado volume de controle. Assim, o manejo da água na agricultura irrigada pode ser realizado por diferentes metodologias, dentre elas, o balanço hídrico de cultivo pelo cálculo do armazenamento de água no solo levando-se em consideração o tipo da vegetação e desenvolvimento vegetativo.

Segundo Carvalho e Oliveira (2012) a demanda agrometeorológica associada ao balanço de água no solo é a forma mais usual, embora o monitoramento dos parâmetros fisiológicos reflita o real estado hídrico nas plantas, na prática ainda é pouco utilizado no manejo da água na irrigação, tendo em vista as metodologias disponíveis e o nível dos equipamentos necessários.

Determinar a quantidade de água a ser suprida ao solo é de considerável importância para o monitoramento das irrigações, irrigações deficitárias ou em excesso resultam em baixas produtividades, além disso, o custo de bombeamento e a limitação dos recursos hídricos têm levado à busca de alternativas que racionalizem o manejo da água, visando à redução nos custos da irrigação (PEREIRA et al., 2002).

Assim, a demanda hídrica de uma determinada cultura e parâmetros climáticos de uma determinada região devem ser considerados na elaboração de projetos e no manejo da água em sistemas de irrigação.

Uma das grandes dificuldades existentes é identificar os vários componentes das mudanças ambientais, provenientes da interação homem-natureza, ferramentas baseadas no “Pensamento Sistêmico” onde o princípio da interdependência demanda que mudanças em qualquer um dos componentes de um determinado sistema, direta ou indiretamente, estão associadas ou afetarão os demais componentes facilitando o entendimento dessas inter-relações (SOUZA et al., 2010).

Dentre as diversas aplicabilidades, a dinâmica de sistemas tem sido utilizada em estudos relacionados à gestão de recursos hídricos, conforme trabalhos desenvolvidos por (VIEIRA, 2008; SÁNCHEZ-ROMÁN et al., 2009 e 2012; SOUZA 2009, 2010 e GONZÁLEZ et al., 2011).

A modelagem de sistemas dinâmicos permite entender os diversos elementos de um sistema e as relações entre eles (GHASHGHAEI et al., 2013).

Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo de simulação dinâmica do balanço hídrico de cultivo para o controle da irrigação na cultura do melão (*Cucumis melo* L) cultivado na região de Iguatu/CE, utilizando o software STELLA 10.0.3 (Structural Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foi desenvolvido um modelo para o manejo da irrigação, que foi validado simulando o manejo da irrigação para a cultura do meloeiro (*Cucumis melo* L.) baseado no consumo diário, determinado pela evapotranspiração de referência segundo o método de Hargreaves-Samani (HARGREAVES et al., 1985). Utilizou-se dados meteorológicos diários de temperatura máxima (T_{max}) e temperatura mínima (T_{min}) do ar e a precipitação (P) ocorrida no ano de 2005, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) do município de Iguatu/CE, considerando o ciclo de 66 dias da cultura, com o primeiro dia após a germinação em 1º de setembro. A radiação solar no topo da atmosfera (R_a) foi calculada conforme metodologia descrita por (ALLEN et al., 1998).

Adotou-se os coeficientes de cultivo da cultura estabelecidos por Allen et al. (1998), a duração dos estádios foram de 22, 17, 17 e 7 dias e o manejo da irrigação realizado conforme o modelo desenvolvido no software STELLA 10.0.3.

As irrigações eram realizadas quando o nível de umidade do solo ficava próximo de um nível mínimo, determinado em função do déficit hídrico tolerável (f) da cultura. Os valores para os déficits hídrico tolerável (f), coeficiente de cultivo (kc) e para a profundidade efetiva do sistema radicular (z), considerando valores iniciais menores, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Dias após a emergência (DAE), déficit hídrico (f), coeficiente de cultivo (kc) e profundidade efetiva do sistema radicular (z) da cultura do meloeiro.

DAR	f	kc	z (mm)
1 -22	0,10	0,20	100
23 – 33	0,20	1,05	300
34 -40	0,20	1,05	400
> 40	0,20	0,7	400

Fonte: Adaptado de Braga (2010).

A elaboração e o entendimento dos principais componentes do modelo de balanço hídrico na cultura do meloeiro e suas relações são apresentadas no diagrama causal (Figura 1).

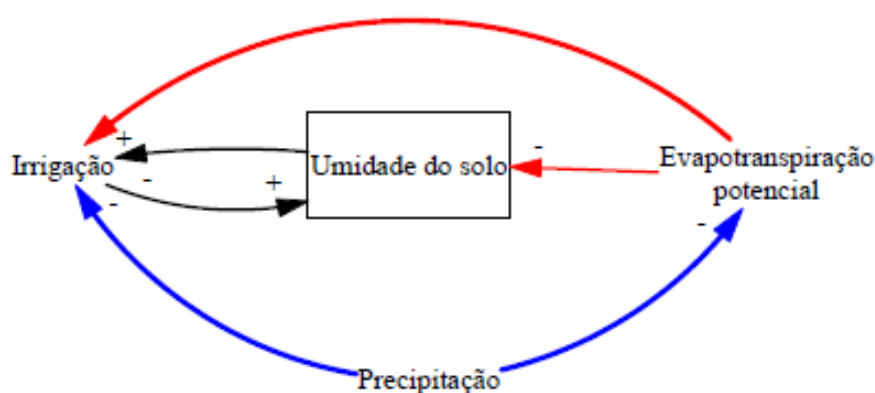


Figura 1. Diagrama causal do modelo de balanço hídrico diário da cultura do meloeiro.

O modelo dinâmico desenvolvido no software STELLA para o manejo da irrigação é demonstrado na Figura 2.

No modelo dinâmico desenvolvido foram utilizadas variáveis constantes e na forma de função gráfica, as variáveis constantes foram a Capacidade de Campo ($CC = 30\%$), Ponto de Murcha Permanente ($PMP = 20\%$) e a densidade aparente do solo ($da = 1,5 \text{ g.cm}^{-1}$). Foram inseridas como funções gráficas as variáveis: z , kc , P , $T_{m\acute{a}x}$, $T_{m\acute{i}n}$, além da radiação solar no topo da atmosfera (R_a) em $\text{MJ m}^2.\text{d}^{-1}$, calculada conforme metodologia descrita por (Allen et al., 1998), demonstradas na Figura 3.

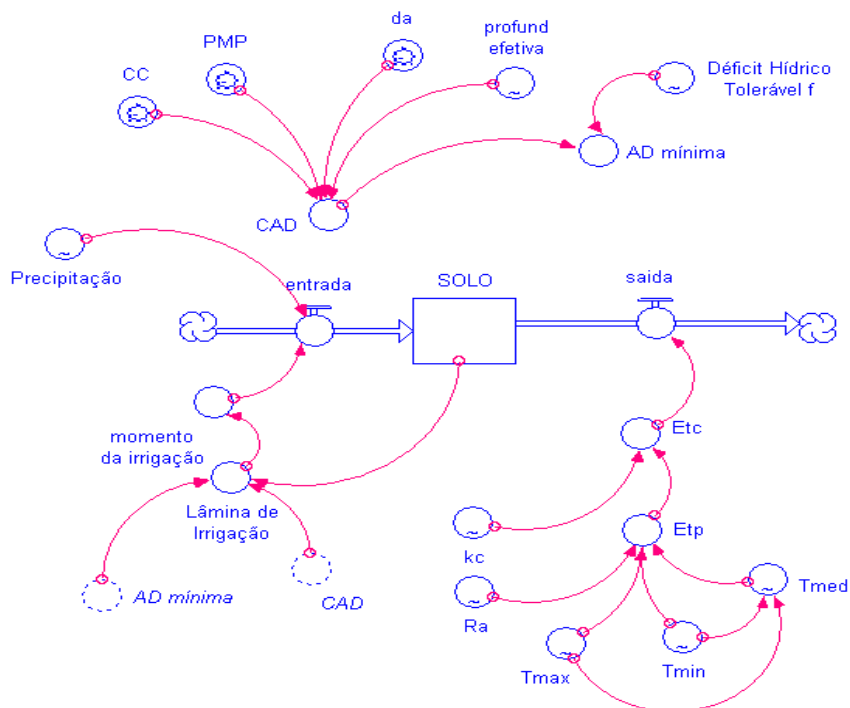


Figura 2. Diagrama do modelo dinâmico do balanço hídrico diário da cultura do meloeiro, demonstrando as características físicas do solo, déficit hídrico tolerável, precipitação diária e lâmina de reposição e cálculo da evapotranspiração da cultura.

No modelo proposto, alguns dos parâmetros são calculados da seguinte forma:
Déficit Hídrico Tolerável (f)

$$f = \text{IF}(\text{TIME} < 22) \text{ THEN}(0.1) \text{ ELSE}(0.2) \quad (1)$$

Capacidade de Água Disponível (CAD, mm)

$$\text{CAD} = ((\text{CC} - \text{PMP})/100) * \text{da} * z \quad (2)$$

Água Mínima Disponível (AD mínima, mm)

$$\text{AD}_{\text{mínima}} = \text{CAD} * (1 - \text{Déficit_Hídrico_tolerável_f}) \quad (3)$$

Entrada = momento da irrigação + precipitação

$$\text{ET}_0 = 0.0023 * \text{Ra} * (\text{T}_{\text{méd}} + 17.8) * ((\text{T}_{\text{máx}} - \text{T}_{\text{mín}})^{0.5}) \quad (5)$$

$$\text{T}_{\text{méd}} = (\text{T}_{\text{máx}} + \text{T}_{\text{mín}})/2 \quad (6)$$

Evapotranspiração de cultivo (ET_c , mm. d^{-1})

$$\text{ET}_c = \text{ET}_0 * \text{kc} \quad (7)$$

$$\text{Lâmina de irrigação (mm)} = \text{IF}(\text{SOLO} < \text{AD}_{\text{mínima}}) \text{ THEN}(\text{CAD} - \text{SOLO}) \text{ ELSE}(0) \quad (8)$$

$$\text{Momento de irrigação} = \text{PULSE}(\text{Lâmina_de_irrigação}, \text{TIME}) \quad (9)$$

Em que: ET_0 é a evapotranspiração de referência em (mm d^{-1}).

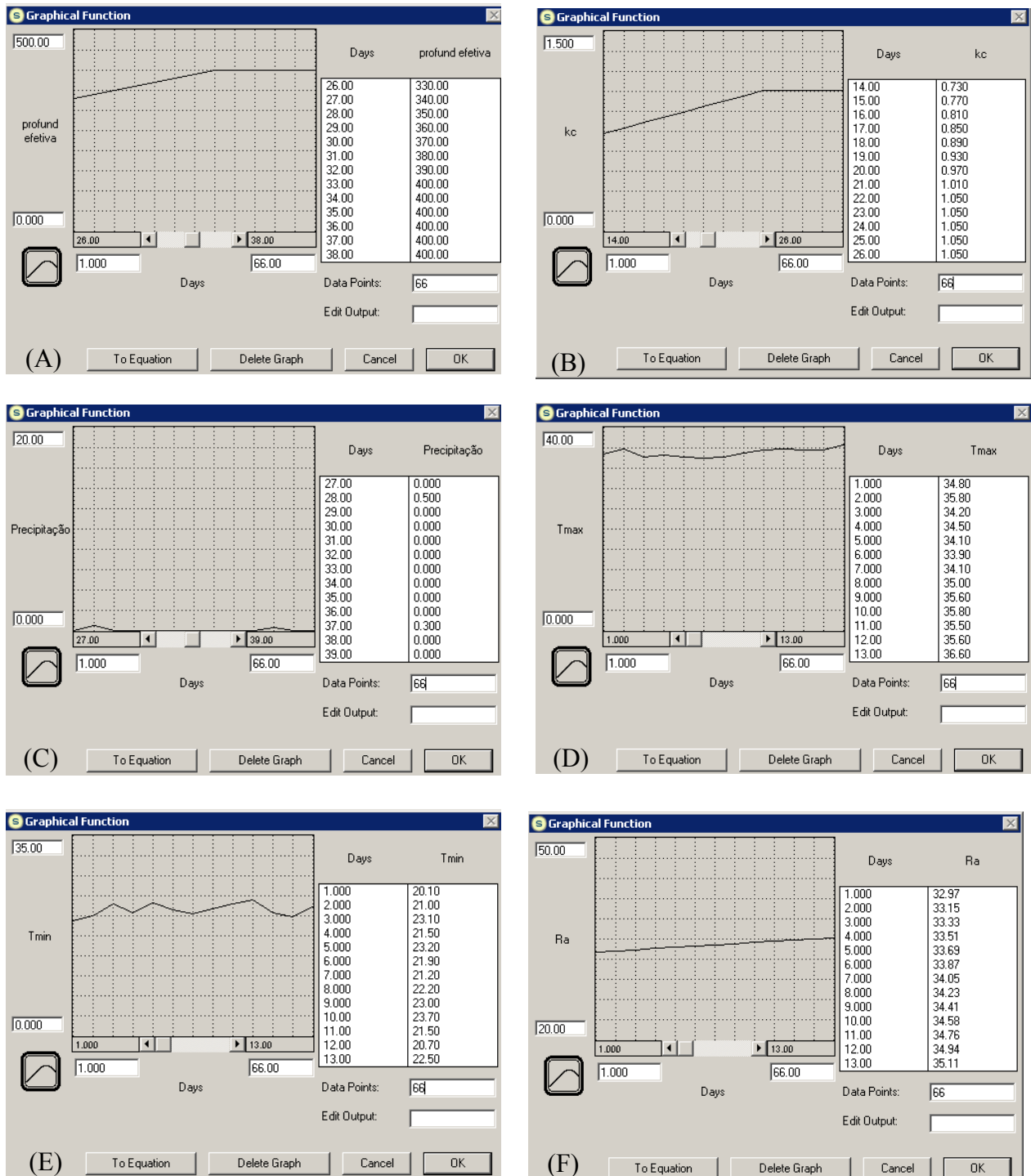


Figura 3. Função gráfica da profundidade efetiva do sistema radicular (A, mm), coeficiente de cultivo (B, adimensional), precipitação diária (C, mm), temperatura máxima do ar (D, °C), temperatura mínima do ar (E, °C) e radiação solar no topo da atmosfera (F, $\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O comportamento da umidade do solo (SOLO), água mínima disponível (AD_mínima), capacidade de água disponível (CAD) e lâmina de irrigação ao longo do ciclo da cultura são apresentadas na Figura 8. Durante o período de simulação dos dados, o manejo da água de irrigação do meloeiro é atendido conforme as necessidades de cada fase de desenvolvimento e consequentemente o momento onde são aplicadas suas respectivas lâminas de irrigação.

As lâminas de irrigação simuladas para o ciclo da cultura do melão são apresentadas na (Tabela 2). A lâmina total aplicada durante todo o ciclo da cultura foi de 346,49 mm distribuídas em 42 irrigações. A reposição hídrica do solo nas fases de desenvolvimento I, II, III e IV correspondeu a 28,78; 21,39; 14,29 e 35,53% respectivamente, do total consumido pela cultura. Na fase I, o número de irrigações foram maiores, porém, com aplicação de lâminas de reposição menores e nas fases seguintes o modelo demonstra a necessidade da aplicação de lâminas de irrigação maiores, tendo em vista a demanda hídrica exigida pela cultura.

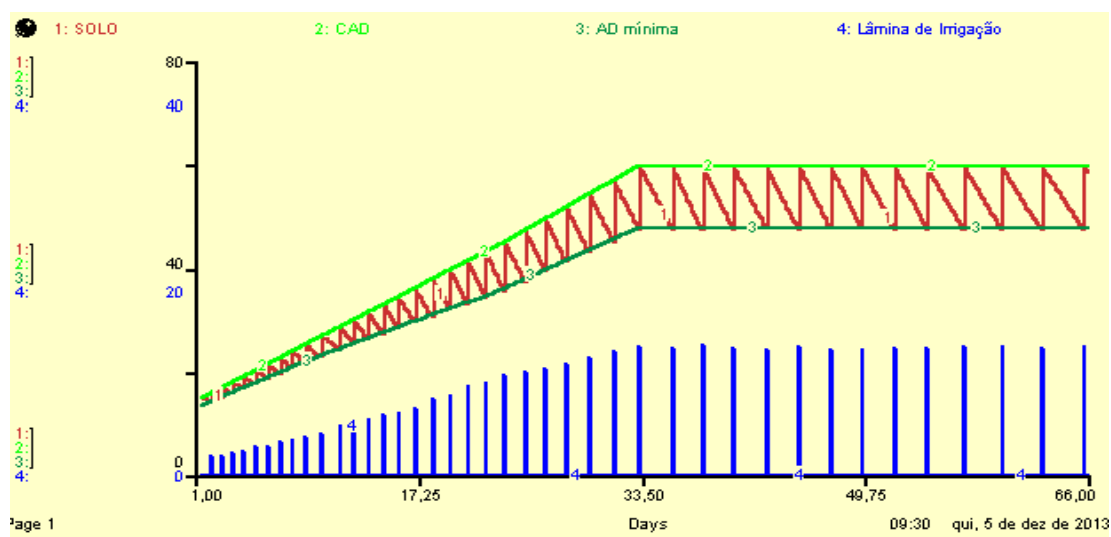


Figura 4. O comportamento diário da umidade do solo (SOLO), água disponível mínima (AD_mínima), capacidade de água disponível (CAD) e lâmina de irrigação simuladas para a cultura do meloeiro na região de Iguatu/CE.

Tabela 2. Dias após a emergência (DAE) e lâminas de irrigação (L_{irrig}) aplicadas ao longo do ciclo da cultura.

Fase da cultura	DAE	ET _o (mm)	ET _c média (mm/dia)	L_{irrig} (mm)	Nº de irrigação
I - Inicial	1 – 22	115,31	3,35	99,72	21
II - Crescimento	23 – 33	60,81	6,32	74,12	7
III - Intermediária	34 – 40	39,74	6,95	49,53	4
IV - Final	> 66	157,22	8,58	123,12	10
Ciclo total	66	372,45	4,79	345,49	42

De acordo com os dados simulados para a região de estudo e níveis de déficit hídrico impostos para o meloeiro, foi demonstrado a necessidade de reposição hídrica ao solo pelos sistemas de irrigação. As lâminas de irrigação simuladas pelo modelo e seus respectivos dias de aplicação são apresentados na Tabela 3. A lâmina média de reposição de água ao solo nas fases I, II, III e IV foi, respectivamente, de 4,74; 10,59; 12,38 e 12,31 mm d⁻¹.

Pode-se observar pela Tabela 3 que até o 15º dia as irrigações foram diárias, em virtude da fase em que a cultura é mais sensível ao déficit hídrico e ao menor tamanho do sistema radicular, o qual explora uma camada de solo mais superficial e que sofre perda de água de forma mais rápida.

A evapotranspiração da cultura para todo o ciclo foi de 316,04 mm, valor superior ao encontrado por Miranda e Bleicher (2001) no município de Paraipaba/ Ceará, de 251 mm e ao trabalho de Morais (2008), realizado em Mossoró/Rio Grande do Norte, que encontrou um valor de 288,66 mm. A maior evapotranspiração pode ser atribuída às maiores temperaturas encontradas em Iguatu/CE, média anual de 29°C, contra 26,7°C de Paraipaba/CE (MIRANDA e BLEICHER, 2001) e 27,4°C de Mossoró/RN (MORAIS, 2008).

Tabela 3. Lâminas de irrigação (L_{irrig}) para a cultura do melão irrigado na região de Iguatu/CE, simuladas pelo modelo desenvolvido.

Data	L_{irrig} (mm)	Data	L_{irrig} (mm)	Data	L_{irrig} (mm)	Data	L_{irrig} (mm)
01/set	1,72	11/set	4,60	23/set	9,58	12/out	12,49
02/set	1,81	12/set	4,93	24/set	9,90	15/out	12,54
03/set	2,10	13/set	5,68	26/set	10,25	17/out	12,28
04/set	4,89*	14/set	6,13	27/set	10,67	19/out	12,35
05/set	2,77	15/set	6,12	29/set	11,03	21/out	12,57
06/set	3,12	17/set	6,84	30/set	10,41	23/out	12,02
07/set	3,32	18/set	7,64	04/out	12,45	25/out	12,24
08/set	3,78	19/set	7,86	06/out	12,34	28/out	12,43
09/set	3,95	20/set	8,85	08/out	12,54	30/out	12,06
10/set	4,16	21/set	8,75	10/out	12,20	02/nov	12,14

* (4,89) corresponde a duas irrigações realizadas no mesmo dia.

Além das condições ambientais discutidas anteriormente, o modelo proposto considera o desenvolvimento da cultura e variáveis ambientais diferentes a cada dia, por não adotar valores médios o maior consumo de água pela cultura é atribuído a essa dinâmica.

5 CONCLUSÃO

O modelo dinâmico desenvolvido pode ser utilizado no planejamento e manejo da irrigação da cultura do meloeiro, possibilitando determinar as lâminas de água e momento das irrigações.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO.1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

BRAGA, M. B. **Sistema de Produção de Melão**. Embrapa/ CPATSA, 2010. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Melao/SistemaProducaoMelao/irrigacao.html>>. Acesso em: 25/11/2013.

CARVALHO, D. F.; OLIVEIRA, L. F. C. **Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada**. Viçosa: UFV, 2012. 240p.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. **Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature**. Chicago, Amer. Soc. Agric. Eng. Meeting (Paper 85-2517), 1985.

INMET. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 20/11/2013.

GHASHGHAELI, M.; BAGHERI, A.; MORID, S. **Rainfall-runoff Modeling in a Watershed Scale Using an Object Oriented Approach Based on the Concepts of System Dynamics**. In: Water Resour Manage. 2013. New Forest, UK. v. 27. p. 5119-5141.

GONZÁLEZ, A. M. G. O.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; FOLEGATTI, M. V.; ZOLIN, C. A. **PCJ River Basins' Water Availability Caused by Water Diversion Scenarios to Supply Metropolitan Areas of São Paulo**. In: Water Resources Management, 2011. Nova York, v. 25, p. 3371-3386.

MIRANDA, F. R.; BLEICHER, E. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo e de irrigação para a cultura do melão (*Cucumis melo* L.) na Região Litorânea do Ceará. Embrapa/CNPAT, 2001. Disponível em: <http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_2598.pdf>. Acesso em: 20/11/2013.

MORAIS, A. T. **Frequência de irrigação da produtividade e qualidade do melão cantaloupe, em Mossoró/RN**. 2008, 63 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2008.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M; FOLEGATTI, M. V.; ORELLANA-GONZÁLEZ, A. M. G. **Situação dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá utilizando modelo desenvolvido em dinâmica de sistemas**. Engenharia Agrícola, v.29, p.578-590, 2009.

SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M; ZOLIN, C. A.; ORELLANA-GONZÁLES, A. M. G.; FOLEGATTI, M.V. **Simulação da oferta e demanda de recursos hídricos nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá: uma análise em dinâmica de sistemas**. Irriga, v.17, p.284-298, 2012.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; JUNIOR, A. G. da SILVA.; GRIFFITHI, J. J.; DELGADO, R. C. **Avaliação do comportamento hidrológico na bacia do ribeirão entre ribeiros, afluente do rio Paracatu, em cenário de mudança climática com o uso do software Stella**. Engenharia na agricultura, Viçosa, v. 18, n. 4, p. 339 - 351, 2010.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; JUNIOR, A. G. da SILVA.; GRIFFITHI, J. J.; DELGADO, R. C. **Dinâmica de sistemas e modelagem dos recursos hídricos da bacia do Rio Preto com o uso do programa Stella**. Engenharia na agricultura, Viçosa, v. 17, n. 5, p. 353 - 366, 2009.

VIEIRA, W. C. **Dinâmica de sistemas aplicada à gestão de recursos hídricos em bacia hidrográfica**. Revista de Economia e Agronegócio, v.6, p. 414 - 448, 2008.