

## PROMAI – PROGRAMA PARA MANEJO DA IRRIGAÇÃO

Rodrigo Pires da Silva<sup>1</sup>  
Genésio Ornelas Nolasco de Oliveira<sup>1</sup>  
Ricardo Arizono dos Reis<sup>1</sup>  
Rafael Macedo de Oliveira<sup>2</sup>

rafaeloliveiraunivertix@gmail.com

**ÁREA DE CONHECIMENTO:** Ciências Agrárias

### RESUMO

A irrigação é uma prática realizada com o objetivo de suprir a necessidade hídrica das culturas. Atualmente, 70% da água derivada dos cursos d'água é destinada ao setor agrícola e aproximadamente 50% desse volume é desperdiçado antes de chegar às raízes das plantas. O manejo correto da irrigação possibilita atender à necessidade hídrica das culturas e evitar o desperdício de água. Para se obter bom manejo de irrigação e boa racionalização do uso da água, é necessário o conhecimento da evapotranspiração das culturas (ET<sub>c</sub>). Dentre os vários métodos para estimar a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), o de Hargreaves-Samani possui algumas vantagens, pois é baseado em dados de temperatura do ar, de fácil aquisição, embora necessite ser calibrado conforme cada região, para a conquista de melhores resultados. O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de criar um *software* computacional em ambiente Excel, que calcula a ET<sub>c</sub> e também o tempo de irrigação para cada cultura, observando seu K<sub>c</sub> e o sistema de irrigação em questão. O *software* criado com o nome "PROMAI" foi desenvolvido no ambiente *Visual Basic for Applications* (VBA). Para a calibração da equação de Hargreaves-Samani em relação à metodologia-padrão FAO-56, foram considerados os valores originais de A<sub>HS</sub> (0,0023), B<sub>HS</sub> (0,5) e C<sub>HS</sub> (17,8) como valores iniciais. Foi utilizada a ferramenta Solver da planilha eletrônica Excel para minimização do erro absoluto médio (EAM). Após a calibração da equação e a determinação dos novos valores de A<sub>HS</sub> e B<sub>HS</sub>, o *software* demonstrou eficácia e correlação entre a ET<sub>o</sub> e a equação padrão Penman-Montheith (FAO-56), facilitando, assim, o manejo da irrigação, principalmente para o pequeno e o médio produtor que não possuem acesso à estação meteorológica automática na propriedade.

**PALAVRAS-CHAVE:** recursos hídricos; sustentabilidade; manejo da irrigação.

### 1. INTRODUÇÃO

A irrigação é uma prática adotada para suprir as necessidades hídricas das plantas desde a época das antigas civilizações. O setor agrícola é o que mais consome água, correspondendo em média a 70% do consumo total de água em todo o mundo. No Brasil, a prática alcançou forte aumento com suporte governamental, a

<sup>1</sup> Engenheiros Agrônomos

<sup>2</sup> Engenheiro agrônomo, doutor em Fitotecnia, professor do curso de Agronomia da Faculdade Vértice

partir das décadas de 1970 e 1980 (ANA, 2019).

Trata-se da forma mais eficaz na produção de alimentos, podendo atingir o triplo da produtividade em comparação com as áreas de sequeiro (SANTOS *et al.*, 2017), estas que são responsáveis pela produção de grande parte dos alimentos para o abastecimento da população mundial (MANTOVANI, BERNARDO e PALARETTI, 2009).

Vista no passado como uma técnica de aplicação de água apenas para suprir o período seco do ano, a agricultura irrigada se tornou grande foco do agronegócio, pois favorece o aumento da produção de alimentos. A irrigação envolve técnicas que permitem economia na produção de determinada cultura, a partir do adequado manejo dos recursos hídricos, sendo responsável pela criação de empregos e pelo desenvolvimento sustentável no campo (MANTOVANI, BERNARDO e PALARETTI, 2009).

O manejo de irrigação consiste em processos que envolvem a tomada de decisão sobre quando irrigar e quanto de água aplicar. Para tanto, é preciso disponibilizar água suficiente para as plantas, a fim de prevenir estresse hídrico, promovendo o aumento da produtividade e da qualidade da produção por meio da perda mínima de água, sem lixiviação de nutrientes e degradação do meio ambiente (ALBUQUERQUE e ANDRADE, 2001). Vale ressaltar que problemas de salinização do solo e contaminação do lençol freático podem ser causados caso o manejo da irrigação não seja realizado de forma adequada (SILVA, CAMPOS e AZEVEDO, 2009).

Para se alcançar um adequado manejo de irrigação e boa racionalização do uso da água, é necessário o conhecimento da evapotranspiração das culturas (ET<sub>c</sub>), que pode ser obtida por meio do valor da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) multiplicado pelo coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>) (CARVALHO *et al.*, 2011). Tais indicadores estão relacionados a aspectos ambientais e fisiológicos das plantas, devendo ser determinados para as condições locais onde a agricultura de irrigação será utilizada (MEDEIROS, ARRUDA e SAKAI, 2004).

Prando *et al.* (2015) explicam que o manejo da irrigação é a principal técnica empregada para que se tenha um uso sustentável da água na irrigação, permitindo aferir o tempo e a frequência com que deve ser realizada a irrigação. Segundo os mesmos autores, o uso de equipamentos agro meteorológicos, com o incremento de meio eficientes e de baixo custo, favorecem a aquisição de dados e facilitam os

cálculos do manejo da irrigação, de modo que o usuário efetive a gestão da água aplicada através do uso sustentável dos recursos hídricos.

Além disso, uma alternativa viável é o uso de aplicativos fáceis para o cálculo diário da necessidade e do tempo de irrigação, adotando-se a conexão com a rede de estações meteorológicas e com as bases georreferenciadas de informações (PRANDO et al., 2015).

Diante do exposto, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de criar um *software* computacional em ambiente Excel, usando a linguagem de programação em VBA (*Visual Basic for Applications*) que calcula a  $ET_C$  (evapotranspiração da cultura) e também o tempo de irrigação para cada cultura, a partir da observação do  $K_C$  (coeficiente da cultura) e do sistema de irrigação específico. Dessa forma, facilita-se o manejo da irrigação em pequenas e médias propriedades rurais.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. Importância da irrigação**

A área da agricultura irrigada em todo o mundo ocupa cerca de 17% de toda a terra agricultável e responde por 40% da produção de todo o alimento consumido mundialmente (PAULINO et al., 2011). A irrigação é uma forma rentável e sustentável se utilizada de forma correta, a partir de técnicas eficientes e de baixo custo tanto no uso da terra quanto da água (LACERDA e OLIVEIRA, 2007). É possível, ainda, promover elevados valores socioeconômicos se a atividade estiver em equilíbrio com o meio ambiente (PINHEIRO, AMARAL e CARVALHO, 2010).

A irrigação atual pode apresentar um consumo de 745 mil litros por segundo de água ( $745 \text{ m}^3/\text{s}$ ), o equivalente a 46% da retirada dos corpos hídricos (ANA, 2019). Estudos demonstram que 50% da água capitada para a irrigação é perdida no meio do caminho, não sendo utilizada pelas plantas (SOUSA et al., 2011). Apesar de ser uma atividade que tem alto consumo de água, observam-se diversos benefícios, tais como: aumento de produção de duas a três vezes em relação à cultura de sequeiro, redução de custos unitários, redução de riscos climáticos e meteorológicos, maior uso do solo, uso perene (pode ser usado durante todo o ano e permite até três safras anuais), aplicação de fertilizantes e agroquímicos pelo

mesmo equipamento da irrigação, aumento de renda para o produtor rural, maior qualidade e padronização de produtos agrícolas (ANA, 2017).

Existem vários fatores que contribuem para a necessidade de irrigação, sendo um dos principais a escassez contínua de água, como no semiárido brasileiro que se faz necessária a aplicação artificial de água (ANA, 2017). Uma irrigação com déficit hídrico não possibilita o benefício esperado, da mesma forma que a aplicação excessiva de água pode ser prejudicial, fazendo com que ocorra saturação do solo, lixiviação de

nutrientes, salinização, maiores evaporações, e elevação do lençol freático, gerando altos custos com drenagem (CORREIA, ROCHA e RISSINO, 2016).

Saraiva *et al.* (2013) confirmam que o excesso hídrico promove problemas que prejudicam ou interferem no crescimento das plantas, além de haver o desperdício de água e o aumento do custo de energia elétrica, devido a esse uso inadequado da irrigação (TURCO, RIZZATTI e PAVANI, 2009).

## **2.2. Métodos usados para o manejo da irrigação**

### **2.2.1. Via clima**

O método de manejo de irrigação mais utilizado é o via clima, devido à facilidade de obtenção de dados e de execução, considerando-se as características do clima e da cultura escolhida (CONCEIÇÃO, 2016).

Para o manejo via clima, existem métodos diretos e indiretos. Entre os métodos diretos, citam-se: lisímetros que consistem em tanques enterrados no solo, para se determinar a evapotranspiração através das pesagens dos tanques antes e após certo período. Os métodos indiretos, que usam estimativas por meio de dados climáticos, adotando dados teóricos e empíricos, são: Penman-Montheith, Hargreaves-Samani, entre outros (BERNARDO, SOARES e MANTOVANI, 2006).

#### **2.2.1.1. Equação de *Hargreaves-Samani***

A Equação de Hargreaves-Samani é baseada em dados de temperatura do ar e radiação solar, sendo tabelada de acordo com a latitude e o período do ano, o que a torna de fácil aplicação. Contudo, exige calibração de acordo com cada região, para se obter melhores resultados. Isso porque esse método tende a superestimar o valor da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), principalmente em climas úmidos (TRAJKOVIC, 2007; MANTOVANI, BERNARDO e PALARETTI, 2009). Cruz (2016)

assegura que o método é adequado para regiões áridas do Brasil, por ter sido desenvolvido em uma região de clima seco. Assim, para demais regiões, é necessário fazer um ajuste prévio da equação.

Esse método pode ser expresso pela seguinte equação:

$$ET_o = 0,0023 \cdot (T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n})^{0,5} \cdot (T_{m\acute{e}d} + 17,8) \cdot R_a \cdot 0,408$$

Sendo:

$ET_o$  = evapotranspiração de referência ( $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$ );

$T_{m\acute{e}d}$  = temperatura média diária ( $^{\circ}\text{C}$ );

$T_{m\acute{a}x}$  = temperatura máxima diária ( $^{\circ}\text{C}$ );

$T_{m\acute{i}n}$  = temperatura mínima diária ( $^{\circ}\text{C}$ ); e

$R_a$  = radiação no topo da atmosfera ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ ).

### 2.2.2. Evapotranspiração da cultura

A evapotranspiração da cultura é uma variável básica da irrigação que depende de dados relativos à temperatura, ao solo, à cultura e ao estágio de desenvolvimento da cultura, podendo ser medida de forma direta, através do uso de lisímetros, ou de forma indireta, sendo determinada pelo uso de equações combinadas por vários métodos (CHAVES *et al.*, 2005).

Uma das formas de estimar a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) é a partir da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), multiplicado por coeficientes adequados conhecidos como coeficiente das culturas ( $K_c$ ) (OLIVEIRA *et al.*, 2015). O coeficiente da cultura ( $K_c$ ) está relacionado à evapotranspiração de uma cultura livre de doenças, cultivada em amplos campos, perante condições ideais de água e fertilidade do solo, sendo capaz de atingir seu potencial total de produção sob o dado ambiente em crescimento (DOORENBOS e PRUITT, 1977).

Para o cálculo da  $ET_c$ , emprega-se a seguinte fórmula:

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

Onde:

$ET_c$  = evapotranspiração da cultura ( $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$ );

$ET_o$  = evapotranspiração de referência ( $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$ ); e

$K_c$  = coeficiente da cultura (adimensional).

### 2.3. Computação na agricultura

O uso das TIC's nos setores da agropecuária e da agricultura já é uma realidade. Na prática, a adesão de uma TIC pode favorecer o aumento na

produtividade e alcançar vários benefícios agrícolas e econômicos, incluindo a melhor gestão da produção e da propriedade rural, bem como o monitoramento, o acompanhamento e a produção agregada aos mais novos resultados de pesquisa na área (GELB e VOET, 2009).

Além disso, as TIC's aplicadas no campo destacam-se no uso de: sistemas de irrigação inteligente, agricultura de precisão, automação e rede de sensores para mapeamento de solos, acompanhamento de doenças, variáveis meteorológicas, a fim de se obter dados sobre produção e aspectos ambientais e climáticos (MASSRUHÁ, LEITE e MOURA, 2014).

O acesso à internet e ao computador, ou até mesmo outros aparelhos como celulares e *tablets*, constitui condição necessária para que o produtor rural possa desfrutar dos benefícios do uso das TIC's aplicadas no campo (MENDES, BUAINAIN e FASIABEN, 2014).

### 3. METODOLOGIA

O *software* criado com o nome "PROMAI" foi desenvolvido no ambiente *Visual Basic for Applications* (VBA), constituído por um conjunto de planilhas que contém dados de  $R_a$  (radiação solar extraterrestre),  $K_c$  (coeficiente da cultura), cidade (latitude) e o modelo de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) proposto por Hargreaves-Samani (1985) representado pela seguinte equação:

$$ET_o = A_{HS} \cdot (T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n})^{B_{HS}} \cdot (T_{m\acute{e}d} + C_{HS}) \cdot R_a \cdot 0,408$$

Em que:

ET<sub>o</sub> = evapotranspiração de referência (mm.dia<sup>-1</sup>);

$R_a$  = radiação solar no topo da atmosfera, expressa em equivalente de evaporação (mm.dia<sup>-1</sup>);

$T_{m\acute{a}x}$  = temperatura máxima do ar (°C);

$T_{m\acute{i}n}$  = temperatura mínima do ar (°C);

$T_{m\acute{e}d}$  = temperatura média do ar (°C); e

$A_{HS}$ ,  $C_{HS}$ ,  $B_{HS}$  = os valores originais 0,0023, 17,8 e 0,5, respectivamente (HARGREAVES e SAMANI, 1985; ALLEN *et al.*, 1998).

Para a determinação da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), utilizou-se a seguinte equação:

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

Em que:

$ET_c$  = evapotranspiração da cultura ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ); e

$K_c$  = coeficiente de cultivo da cultura (adimensional).

Para a calibração da equação de *Hargreaves-Samani*, foram considerados os valores originais  $A_{HS}$  (0,0023),  $B_{HS}$  (0,5) e  $C_{HS}$  (17,8) como valores iniciais. A ferramenta Solver da planilha eletrônica Excel foi empregada para minimização do Erro Absoluto Médio (EAM), alterando os valores de  $A_{HS}$  e  $B_{HS}$ . O Erro Absoluto Médio foi adotado por constituir a medida mais apropriada do erro médio e por não apresentar oscilações (WILLMOTT e MATSUURA, 2005).

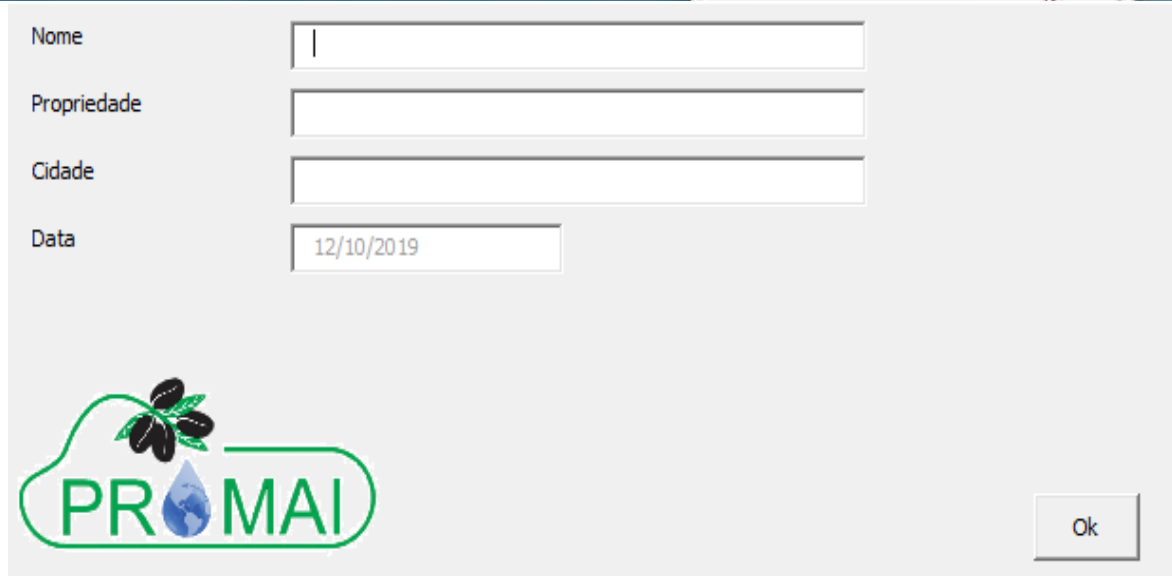
#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O *software* apresenta uma interface amigável e clara, com uma tela inicial de fácil compreensão (Figura 1), podendo ser utilizado em computador convencional ou portátil.



**Figura 1.** Tela inicial  
Fonte: Os autores (2019)

A segunda tela do programa é destinada à entrada de dados gerais para o cadastro do produtor (Figura 2).




Nome

Propriedade

Cidade

Data



**Figura 2.** Entrada de dados para cadastro do produtor  
**Fonte:** Os autores (2019)

Os dados de entrada são inseridos no *software* de forma fácil (Figuras 3 e 4). Além de estimar a evapotranspiração de referência, o *software* também estima a evapotranspiração da cultura e o tempo de irrigação em horas, minutos e segundos, conforme necessidade. Quando não for necessário, mostra a mensagem “Não há a necessidade de irrigar!”, apresentando, dessa forma, um diferencial em relação a outras ferramentas que facilitam o manejo da irrigação, estas que, na maioria das vezes, estimam apenas a ETo ou a ETc. Os dados de entrada para o cálculo da lâmina de irrigação são: a cidade em que se localiza a propriedade, temperaturas diárias máxima e mínima e precipitação, sendo que esses dados são obtidos por instrumentos de baixo custo e fácil interpretação, podendo ser manejados pelo próprio agricultor. Segundo Prando *et al.* (2015), ao desenvolver um *software* para o manejo da irrigação, há um aumento da eficiência no uso da água e energia elétrica.

Estado  Cidade

Mês

Cultura

Tempo de Irrigação (horas:minutos:segundos)  
**2:36:41**

Estádio da Cultura


Vazão do Emissor (L/h)

Espaçamento entre Emissores  x

Eficiência do Sistema (%)

**Dados Registrados**

Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6
T.Max(°C) <input type="text" value="32"/>	T.Max(°C) <input type="text" value="0"/>	T.Max(°C) <input type="text" value="0"/>	T.Max(°C) <input type="text" value="0"/>	T.Max(°C) <input type="text" value="0"/>	T.Max(°C) <input type="text" value="0"/>
T.Min (°C) <input type="text" value="27"/>	T.Min (°C) <input type="text" value=""/>	T.Min (°C) <input type="text" value=""/>	T.Min (°C) <input type="text" value=""/>	T.Min (°C) <input type="text" value=""/>	T.Min (°C) <input type="text" value=""/>
Precipitação (mm) <input type="text" value="0"/>	Precipitação (mm) <input type="text" value="0"/>	Precipitação (mm) <input type="text" value="0"/>	Precipitação (mm) <input type="text" value="0"/>	Precipitação (mm) <input type="text" value="0"/>	Precipitação (mm) <input type="text" value="0"/>



**Figura 3.** Entrada de dados  
**Fonte:** Os autores (2019)

Estado  Cidade

Mês

Cultura

Tempo de Irrigação (horas:minutos:segundos)  
**Não há necessidade de Irrigar**

Estádio da Cultura


Vazão do Emissor (L/h)

Espaçamento entre Emissores  x

Eficiência do Sistema (%)

**Dados Registrados**

Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6
T.Max(°C) <input type="text" value="32"/>	T.Max(°C) <input type="text" value="0"/>	T.Max(°C) <input type="text" value="0"/>	T.Max(°C) <input type="text" value="0"/>	T.Max(°C) <input type="text" value="0"/>	T.Max(°C) <input type="text" value="0"/>
T.Min (°C) <input type="text" value="27"/>	T.Min (°C) <input type="text" value=""/>	T.Min (°C) <input type="text" value=""/>	T.Min (°C) <input type="text" value=""/>	T.Min (°C) <input type="text" value=""/>	T.Min (°C) <input type="text" value=""/>
Precipitação (mm) <input type="text" value="4"/>	Precipitação (mm) <input type="text" value="0"/>	Precipitação (mm) <input type="text" value="0"/>	Precipitação (mm) <input type="text" value="0"/>	Precipitação (mm) <input type="text" value="0"/>	Precipitação (mm) <input type="text" value="0"/>



**Figura 4.** Entrada de dados  
**Fonte:** Os autores (2019)

Após a inserção das informações, o usuário tem a opção de imprimir o relatório com os dados de evapotranspiração de referência e da cultura, além do balanço hídrico (Figura 5).

**Relatório**

Nome	Sr. José	
Propriedade	Fazenda Nova Esperança	
Cidade	Matipó	
Data	03/11/2019	
Vazão do Emisor (L/h)	2	
Eficiência de Aplicação (%)	95	
Intensidade de Aplicação (mm/h)	0.83	
ET <sub>o</sub> Acumulada (mm)	2.07	
ET <sub>c</sub> Acumulada (mm)	2.07	
Precipitação Acumulada (mm)	0.00	
Balanco Hídrico Acumulado (mm)	-2.18	
Tempo de Irrigação (h:mm:ss)	<b>2:36:41</b>	

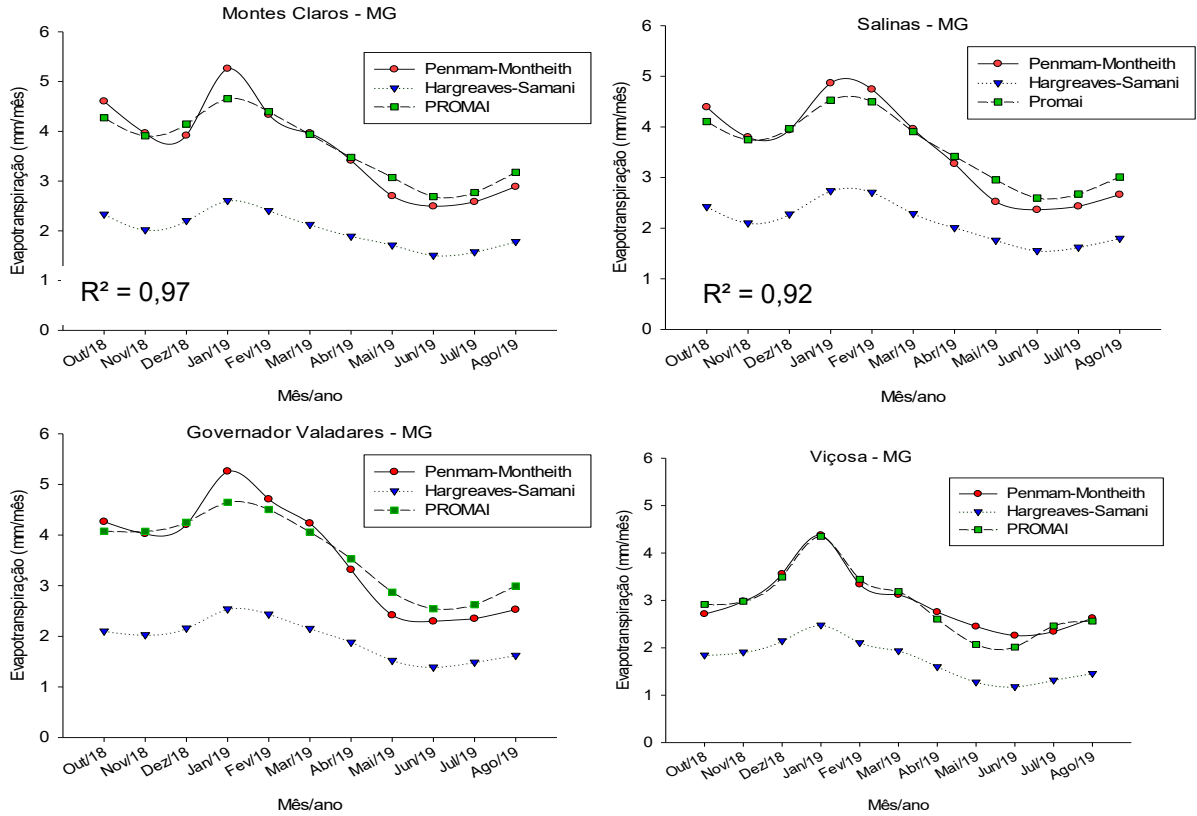


**Figura 5.** Tela de relatório  
**Fonte:** Os autores (2019)

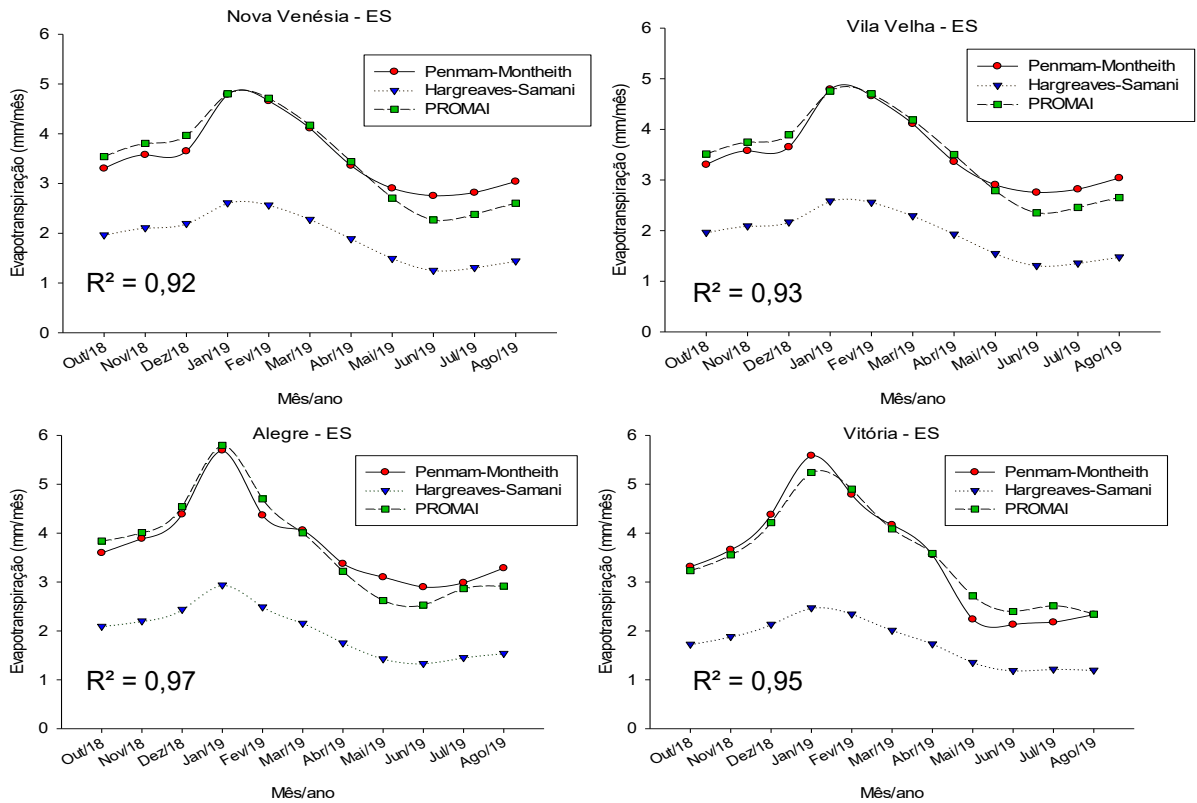
Foram coletados dados de estações meteorológicas de quatro cidades do estado de Minas Gerais e outras quatro do Espírito Santo. Fez-se a comparação entre a equação de Penman-Montheith FAO-56, a equação do *software* e a fórmula original de Hargreaves-Samani. Para a definição do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), usou-se a planilha eletrônica Microsoft Office Excel<sup>®</sup> 2019. Observa-se que houve uma melhora do coeficiente de determinação quando se fez o ajuste da equação (Figuras 6 e 7).

Comparando o coeficiente de determinação  $R^2$  visto na Figura 6, observa-se que ocorreu uma variação de 0,95 para Montes Claros (MG) e 0,98 em Salinas (MG), com os dados das estações das mesmas cidades, Alencar *et al.* (2011) obtiveram valores de  $R^2$  igual a 0,753 e 0,775, respectivamente, demonstrando que o *software* PROMAI ficou superior ao ajuste dos referidos autores, estando, portanto, mais próximo aos valores de evapotranspiração de Penman-Montheith. O melhor coeficiente de terminação  $R^2$  foi para Salinas (MG), por ser uma cidade que está localizada em uma região semiárida, clima para o qual a equação de Hargreaves-Samani foi desenvolvida.

Pinheiro (2017) encontrou valor de  $R^2$  de 0,8093 ajustado para a estação convencional localizada em Viçosa (MG). No *software*, o valor calculado de  $R^2$  visto na Figura 6 foi de 0,92, sendo os dados obtidos de estação automática, demonstrando também superior ao autor supracitado.



**Figura 6.** Comparação dos dados de evapotranspiração de referência (mm/mês) obtidos com os dados da estação meteorológica das cidades do estado de Minas Gerais  
**Fonte:** Os autores (2019)



**Figura 7.** Comparação dos dados de evapotranspiração de referência (mm/mês) obtidos com os dados da estação meteorológica das cidades do estado do Espírito Santo  
**Fonte:** Os autores (2019)

De acordo com Alencar; Sedyama e Mantovani (2015), o método de Hargreaves-Samani é de simples utilização para calcular a evapotranspiração, porém, quando faltam dados, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) apresenta uma piora. Em estudo realizado pelos autores, o  $R^2$  ficou em 0,446, muito abaixo do valor para estações em que não houve ausência de dados. Para a mesma cidade (Governador Valadares), no presente estudo, o *software* gerou uma equação com  $R^2$  de 0,97 vista na Figura 6, demonstrando superioridade ao de Alencar, Sedyama e Mantovani (2015). A ausência de dados pode levar a uma superestimativa do volume a ser aplicado, gerando maior consumo de energia elétrica e maior desgaste dos equipamentos de irrigação, além de poder até ocasionar problemas ambientais devido ao escoamento superficial de agrotóxicos que pode chegar até o leito dos rios. O baixo ajuste da equação pode também subestimar o volume a ser irrigado, ocasionando um estresse hídrico nas plantas. Assim, o ajuste da equação é de suma importância para ser mais assertivo e possibilitar o maior desenvolvimento das plantas.

Nas cidades do estado do Espírito Santo, houve pequena variação dos dados de  $R^2$ , variando de 0,92 a 0,97, conforme apresentado nas Figuras 7. Esta variação também pode ser observada no trabalho desenvolvido por Zanetti *et al.* (2018), quando a equação de Hargreaves-Samani foi calibrada com o objetivo de estimar a evapotranspiração de referência, variando de 0,82 para a cidade São Mateus e 0,85 para Alegre.

Os programas computacionais na agricultura, que utilizam a equação de Hargreaves-Samani, como o PROMAI, conseguem reduzir o volume de água aplicada, bem como a energia elétrica, diminuindo custos. Cavagnino e Carvasan (2016), ao utilizarem um sistema de automação com a mesma equação, obtiveram um menor consumo de água, quando comparado aos outros sistemas e ao baixo consumo de energia elétrica. Do mesmo modo, Ferreira *et al.* (2016) utilizaram um *software* denominado IntecPerímetro<sup>®</sup> para calcular a lâmina média de irrigação, obtendo uma economia média de água de 28,3%.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pela facilidade de manuseio e utilização de apenas dados climáticos de temperatura e precipitação, obtidos com instrumentos de baixo custo, como um termômetro de máxima e mínima e um pluviômetro, o *software* PROMAI pode ser utilizado quando ajustado, apresentando uma boa precisão. O sistema demonstra boa correlação entre a ETo e a equação padrão Penman-Montheith (FAO-56), facilitando o manejo da irrigação, principalmente para o pequeno e médio produtor que não têm acesso à estação meteorológica automática na propriedade.

## 6. REFERÊNCIAS

ALENCAR, L. P. D.; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimativa da evapotranspiração de referência (Eto padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 1, p.39-50, janeiro/fevereiro. 2015.

ALENCAR, L. P. *et al.* Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no norte de Minas Gerais. **Engenharia na agricultura**, Viçosa-MG, v. 19, n. 5, p. 437-449, setembro/outubro. 2011.

ALBUQUERQUE, P. E. P.; ANDRADE, C. L. T. **Planilha eletrônica para a programação da irrigação de culturas anuais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2001. 14p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 5).

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 301p. Irrigation and Drainage, Paper 56.

ANA. **Agência Nacional de Águas**. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrrigacaoUsodaAguaAgriculturalIrigada.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2019.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8 ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41 n. 3, p. 456-465, julho-setembro. 2011.

CAVAGNINO, E.; CARVASAN, F. A. Irrigador eco-eficiente para plantações. **Revista Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 35, p. 93-100, julho/dezembro. 2016.

CHAVES, S. W. P.; AZEVEDO, B. M.; MEDEIROS, J. F.; BEZERRA, F. M. L.; MORAIS, N.B. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da pimenteira em lisímetro de drenagem. **Revista Ciência Agrônoma**. v. 36, n. 3, p. 262-267, 2005.

CONCEIÇÃO, C. G. **Análise de crescimento e produtividade econômica**

**do feijoeiro irrigado na região de Alegrete, RS.** Orientador: Prof. Adroaldo Dias Robaina, 2016. 70 f. Dissertação, Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria - RS, 2016.

CRUZ, J. T. **Avaliação de métodos de estimativa de evapotranspiração para Brasília-DF.** Orientadora: Profa. Dra. Selma Regina Maggiotto, 2016. 45 f. Monografia, Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheira Agrônoma - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, UnB, Brasília-DF, 2016.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements.** Roma, FAO, 1977. 194p.

ELIAS, A. A. A. *et al.* Ardweather: uma estação meteorológica baseada no arduino e em web services restful. **XIV Safety, Health and Environment World Congress**, Cubatão, Brasil, julho 20 - 23, 2014.

FERREIRA, F. E. P., *et al.* Uso do *software* Intecperímetro<sup>®</sup> no manejo da irrigação do feijoeiro. **Engenharia na agricultura**, Viçosa - MG, v. 23 n. 3, p. 257-266, maio-junho, 2016.

GELB, E.; VOET, H. **Adoption Trends in Agriculture: A summary of the EFITA ICT Adoption Questionnaires (1999 – 2009).** Disponível em: [https://economics.agri.huji.ac.il/sites/default/files/agri\\_economics/files/voet-gelb.pdf](https://economics.agri.huji.ac.il/sites/default/files/agri_economics/files/voet-gelb.pdf)  
Acesso em: 15 jun. 2019.

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

LACERDA, N. B.; OLIVEIRA, T. S. Agricultura irrigada e qualidade de vida dos agricultores em perímetros do Estado do Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 2, p. 216-223, 2007.

MARTINS, C. C. *et al.* Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro (*Coffea arabica* L.). Uberlândia, **Bioscience jornal**, v. 23, n. 2, p. 61-69, abril-junho 2007.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: Princípios e métodos** 3 ed. Viçosa: UFV, 2009, 355p.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. A.; MOURA, M. F. Os novos desafios e oportunidades das tecnologias da informação e da comunicação na agricultura (AgroTIC). In: **O papel da TIC na pesquisa agropecuária**, Embrapa Informática Agropecuária, 2014, p. 23-38.

MEDEIROS, G.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. Relações entre o coeficiente de cultura e cobertura vegetal do feijoeiro: erros envolvidos e análises para diferentes intervalos de tempo. **Revista Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 513-519, 2004.

MENDES, C. I. C.; BUAINAIN, A. M.; FASIABEN, M. C. R. Heterogeneidade da agricultura brasileira no acesso às tecnologias da informação. **Revista Espacios**, v.

35, n. 11, p.11, 2014.

NUNES, M. S. **Comparação de métodos via solo e via demanda evaporativa para manejo de irrigação**. Orientador: Adroaldo Dias Robaina, 2014. 120 f. Tese, doutorado apresentado ao Programa de Pós – Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de água e solo – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2014.

OLIVEIRA, G. M. *et al.* Evapotranspiração da cultura da cebola. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal - PB, v. 10, n. 4, p. 58-63, outubro-dezembro, 2015.

PAULINO, J. *et al.* Situação da agricultura irrigada no Brasil de acordo com o Censo agropecuário de 2006. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 2, p. 163-176, abril-junho, 2011.

PINHEIRO, M. A. B. **Evapotranspiração de referência com requerimento mínimo de dados para estações de Minas Gerais e adjacências**. Orientador: Prof. Dr. João Carlos Ferreira Borges Júnior, 2017. 110 f. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias). Universidade Federal de São João Del Rei, São João Del Rei-MG, 2017.

PINHEIRO, J. C. V.; AMARAL, C. R.; CARVALHO, R. M. Análise da viabilidade socioambiental da fruticultura irrigada no Baixo Jaguaribe, Ceará. **RGSA – Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 4, n. 1, p.3-17, janeiro/abril, 2010.

PIRES, R. C. M. *et al.* Agrometeorologia como suporte ao manejo de recursos hídricos e preservação de mananciais. **Centro de Ecofisiologia e Biofísica Instituto Agrônomo**. Novembro, 1999.

PRANDO, E. P. *et al.* Sistema web de manejo da irrigação – SISMI. **Irriga**, Botucatu, p. 121-136, 2015.

SANTOS, R. A. *et al.* Estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Feira de Santana (BA). **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 4, p. 1617-1626, 2017.

SANTOS, M. R.; ZONTA, J. H.; MARTINEZ, M. A. Influência do tipo de amostragem na constante dielétrica do solo e na calibração de sondas de TDR. **Revista brasileira ciência do solo**. v. 34, p. 299-307, 2010.

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

SILVA, V. P. R.; CAMPOS, J. H. B. C.; AZEVEDO, P. V. de. Water use efficiency and evapotranspiration of mango orchard grown in northeastern region of Brazil. **Scientia Horticulturae**, v. 1, n. 120, p. 467-472, 2009.

SOUSA, V. F. *et al.* Irrigação e fertirrigação em frutíferas e hortaliças. **Embrapa informação e tecnologia**. Brasília, DF 2011.

TRAJKOVIC, S. Hargreaves versus Penman-Montheith under Humid Conditions. **Journal of irrigation and drainage engineering**, january/february p. 38-42, 2007.

TURCO, J. E. P., RIZZATTI, G. S., PAVANI, L. C. Custo de energia elétrica em cultura do feijoeiro irrigado por pivô central, afetado pelo manejo da irrigação e sistemas de cultivo, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 29, n.2, p.311-320,2009.

WILLMOTT, C. J.; MATSUURA, K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. **Climate Research**, Oldendorf-Luhe, v. 30, n. 1, p. 79-82, 2005.

ZANETTI, S. S.; DOHER, R. E.; CARMO, E. B. D.; AVELINO, R. Calibração da equação de Hargreaves-Samani para estimar a evapotranspiração de referência no estado do Espírito Santo, **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v. 12, n. 3, p. 2692 - 2701, 2018.